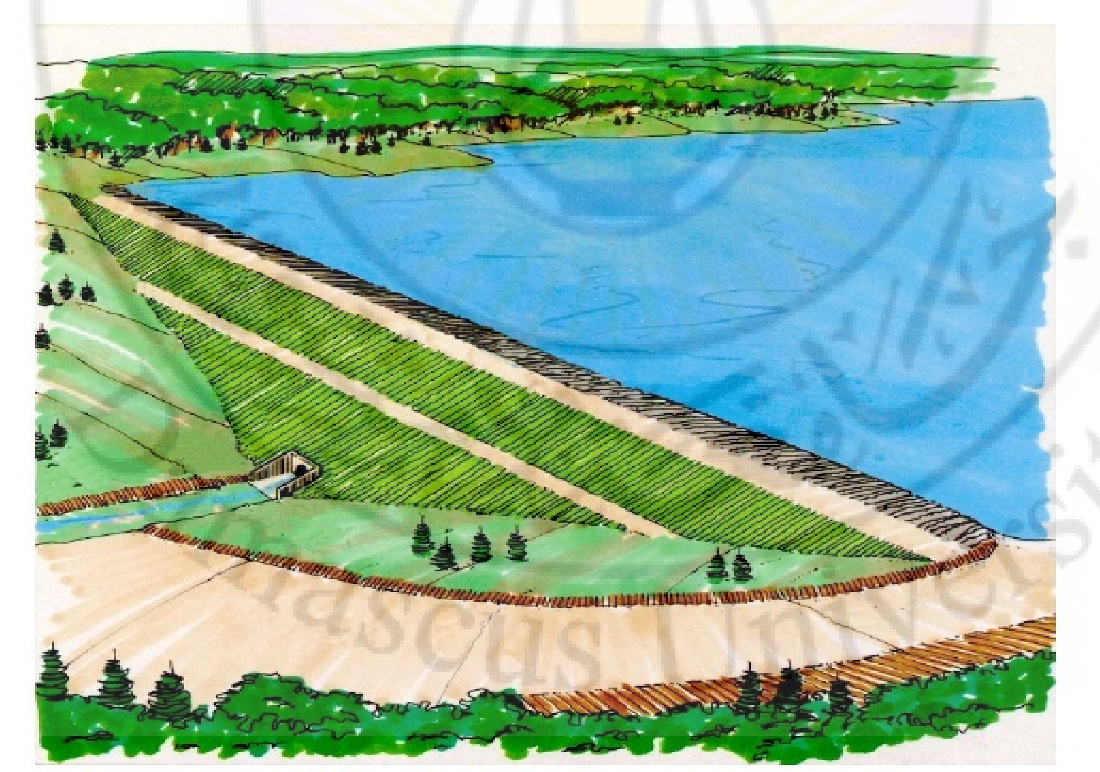
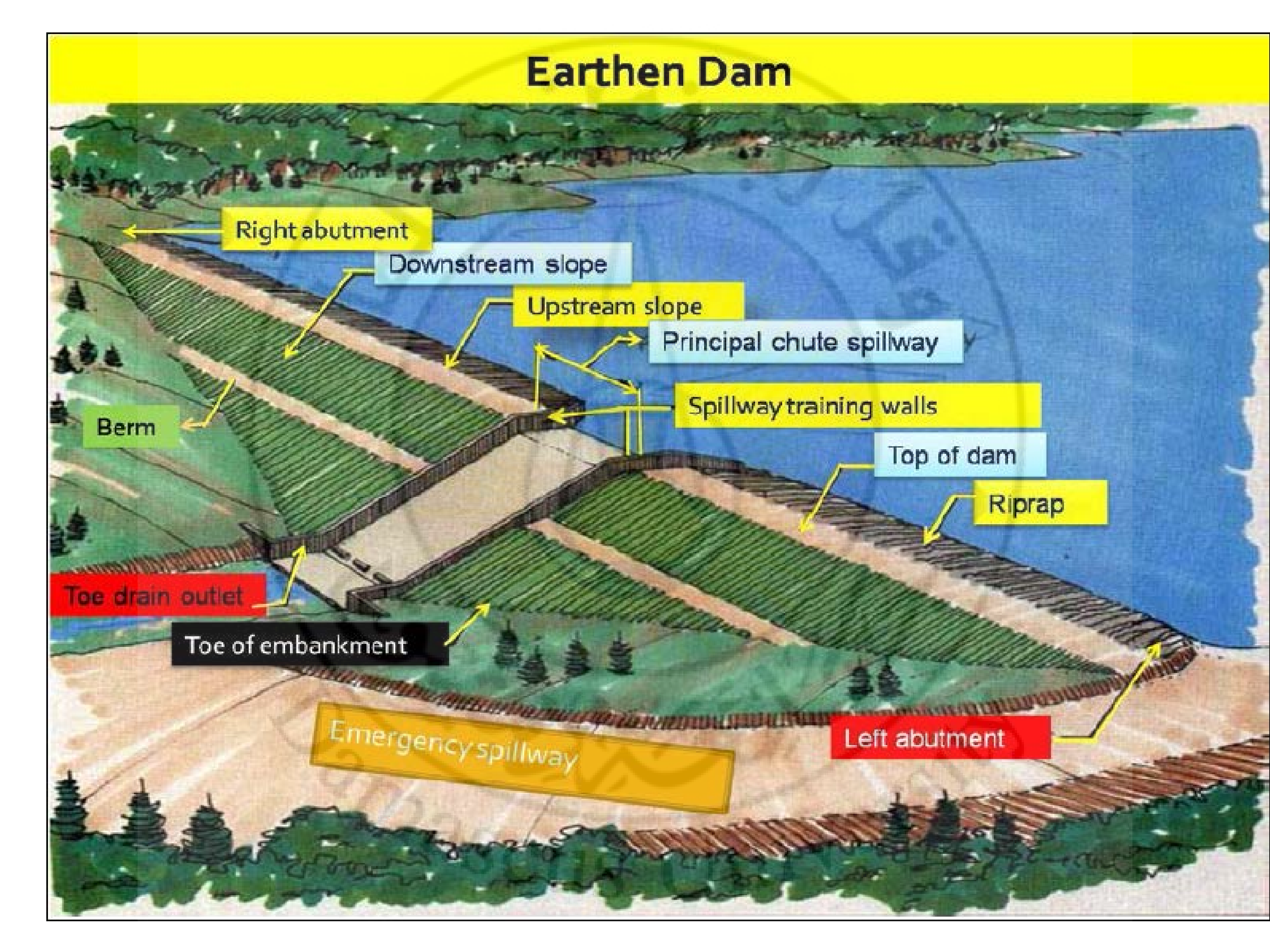
جامعة دمشق
كلية الهندسة المدنية
السنة الخامسة

هندسة السدود

- Dam Engineering



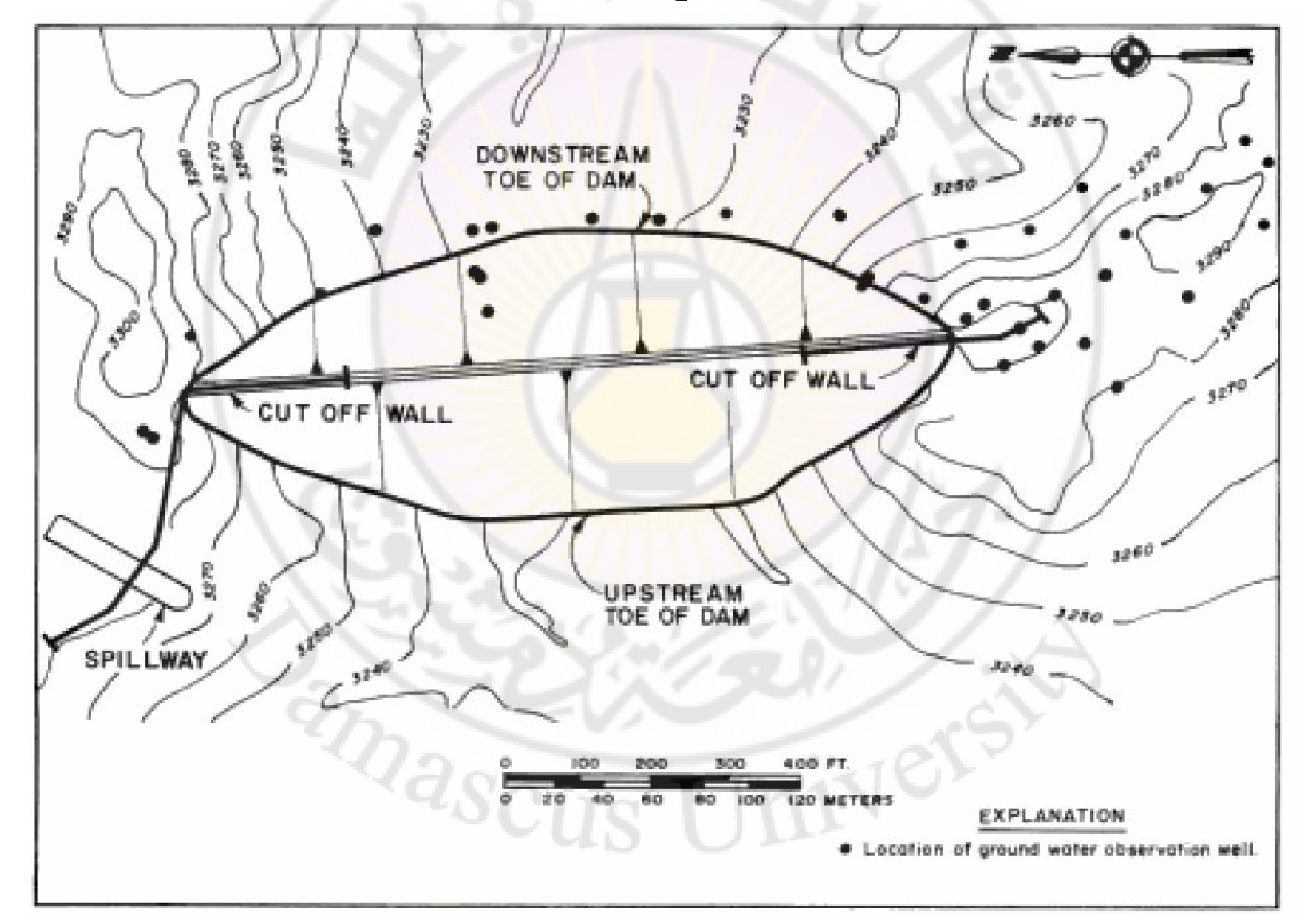


Earthen Dam
Right abutment
Downstream slope
Upstream slope
Principal chute spillway
Spillway training walls
Berm
Top of dam
Riprap
Toe drain outlet
Toe of embankment
Emergency spillway
Left abutment

303554 Dams Engineering (3 Credit Hours; Prerequisite: 303322 & 303352)

- 1-Different types of dams,
- 2-choice dam according to sight location,
- 3-type of forces acting on dams,
- 4-**<u>design and construction of different types of dams</u>**:
- - gravity dams,
- - arch dams,
- -buttress dams,
- -hollow dams,
- -earth and rock-fill dams
- - cofferdams, weirs,
- -spillways dam tunnels and gates;
- - quality of water retained by dams;
- -environmental impact of dams construction

موقع السد



DOWNSTREAM TOE OF DAM
CUT OFF WALL
CUT OFF WALL
UPSTREAM TOE OF DAM
SPILLWAY
0 100 200 300 400 FT.
0 20 40 60 80 100 120 METERS
EXPLANATION
Location of ground water observation well.

مخطط يوضح الحوض الصباب وبحيرة السد

Description of course Dam Engineering

- 1-Different types of dams
- 2-choice dam according to sight location
- 3-type of forces acting on dams
- 4-design and construction of different types of dams(gravity dams, arch dams, buttress dam, hollow dams, earth and rock-fill dams cofferdams ,weirs, spillways dam tunnels and gates)
- 5-Quality of water retained by dams
- 6- Environmental impact of dams construction

Introduction

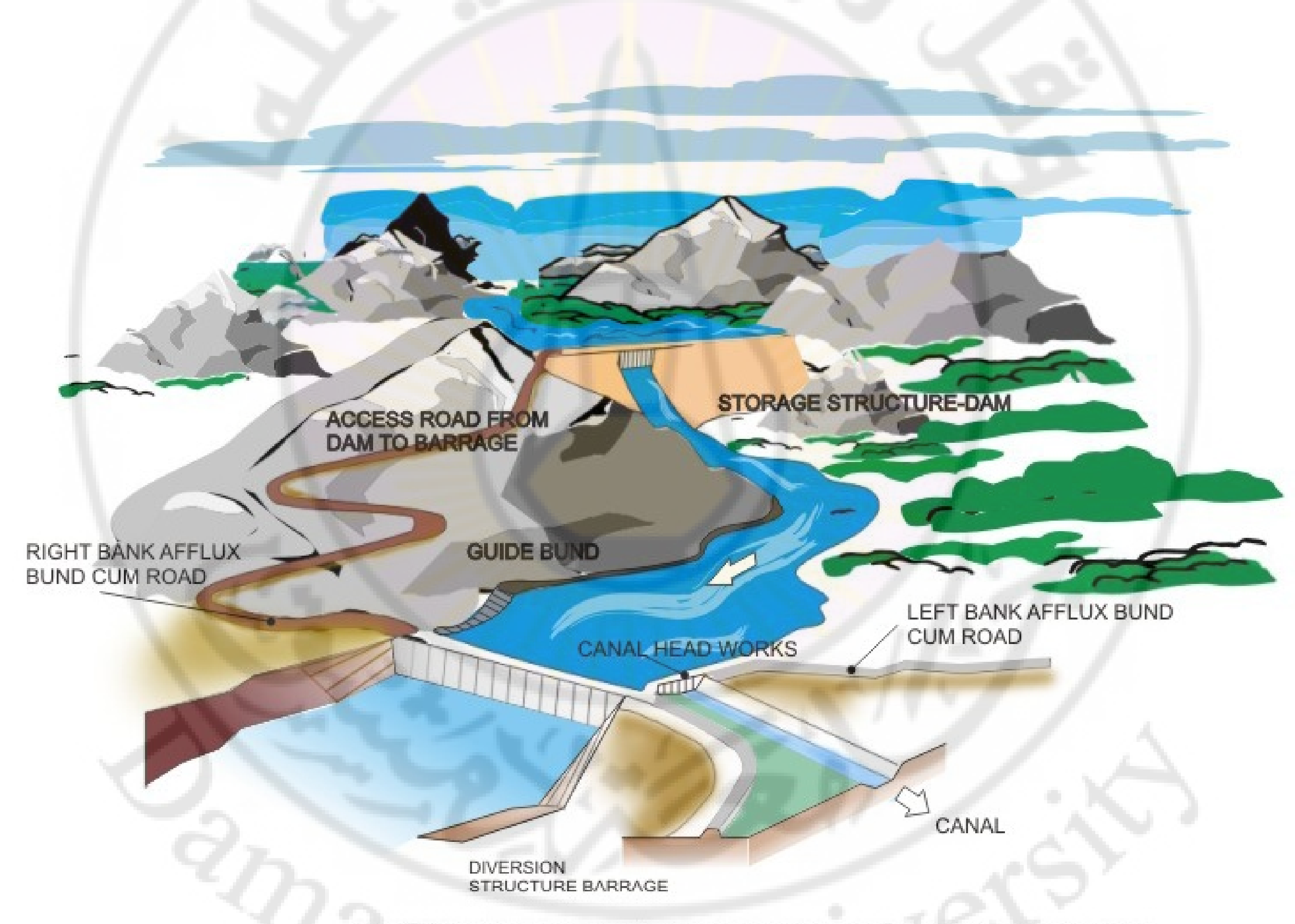


FIGURE 1. Structures for harnessing water resources potential of a river

Introduction
مقدمة

- إن أول سد يتوفر له معطيات اشيد على نهر النيل حوالي ٤٠٠٠ قبل الميلاد
- المنشآت التي تشاد عبر الأنهار (في مقطع النهر) بهدف حجز المياه وتخزينها للاستخدام المستقبلي تسمى سدود تخزين وهي مختلفة قليلا عن منشآت التحويل (والتي تهدف بشكل رئيسي لرفع منسوب النهر والذي من الممكن آن يتدفق إلى قناة جانبية منسوبها يسمح بذلك)والهدارات التي يمكن استخدامها أيضا كسدود حجز وجزء من منشأة تصريف الفيضان

أنواع السدود
Types of dams

- إن كل سد انشأ في العالم هو عمليا منشأة فريدة وحيدة أي تختلف عن غيرها من السدود ساء بتصميم السد أو الأساسات أو المواد أو التصريف أو سعة البحيرة أو المفيض .... الخ السبب يعود إلى انه يتم في هندسة السدود اختيار نوع السد بعد الأخذ بالاعتبار عدة عوامل هيدروليكية ، هيدرولوجية ، جيوتكنيكية وبيئية ...... الخ

أنواع السدود
Types of dams

- من المعلوم أن هدف إنشاء السد هوان يخزن المياه لأغراض معينة ولهذا يجب أن يكون السد أمينا ومستقرا ضد الانزلاق(Sliding) والدوران (overturning)مع أو بدون والأساسات
- إن الصخر أو التربة التي يستند اليها السد يجب أن تكون مؤهلة وقادرة على مقاومة وتحمل الأحمال من السد
- إن بحيرة السد المتشكلة خلفه يجب أن تكون كتيمة كما أن الرشح خلال أساسات السد يجب أن تكون اصغرية.

أنواع السدود
Types of dams

- بسبب أن كل حالة تتطلب مقترحا مختلفا لنوع السد لذلك فان تصنيفات عديدة للسدود تتم وفق مواد إنشاؤها وتقسم السدود حسب المواد التي تنفذ منها الى :
- ١- سدود ركامية والتي تنفذ من التربة والحجر او الصخر
- ٢- السدود الخرسانية والتي تنفذ من البيتون
- 1. Embankment dams, which are constructed of earth fill and/or rock fill, and
- 2. Concrete dams, which are constructed of mass concrete

أنواع السدود
Types of dams

- أيضا تم إنشاء بعض السدود من الحجر (rubble masonry) لكن السدود الركامية هي الأكثر شيوعا عالميا لأسباب تقنية تتعلق غالبا بتطور علم ميكانيك التربة واقتصادية تتعلق بتوفر مواد الإنشاء وسهولة الحصول عليها وكلفتها المنخفضة وهي تشكل حوالي ٨٠% من السدود الكبيرة في العالم نفذت بالعصر الحديث
- سيتم إيضاح هذين النوعين من السدود فيما يلي :

السدود الركامية

Embankment Dams

- يمكن تعريف هذه السدود بأنها تلك المنفذة من المواد الطبيعية عن طريق الحفر أو التي يتم الحصول عليها من جانب موقع السد
- هذه المواد المتوفرة يتم استعمالها بالشكل الأمثل فيما يتعلق بخواصها
- توضع هذه المواد الطبيعية على طبقات ثم يتم دمكها أو رصها دون إضافة أي مواد رابطة (اسمنت مثلا)
- يمكن تصتيف السدود الركامية الى :
- ١- السدود الركامية الترابية –
- Earth-fill or earthen embankments-
- ٢-السدود الركامية الصخرية
- Rock-fill embankments-

١ـالسدود الركامية الترابية
1-Earth-fill or earthen embankments

- تصنف هذه السدود على أنها تلك التي ينفذ منها جسم السد من تربة مرصوصة Compacted soil
- السدود الترابية تنفذ بشكل رئيسي من تربة هندسية مرصوصة بشكل منتظم على طبقات رقيقة نسبيا و عند درجة محتوى رطوبة متحكم بها أو محددة (مثالية (optimal moisture
- بعض المقاطع التصميمية للسد الترابي موضحة الشائعة الشريحة التالية :

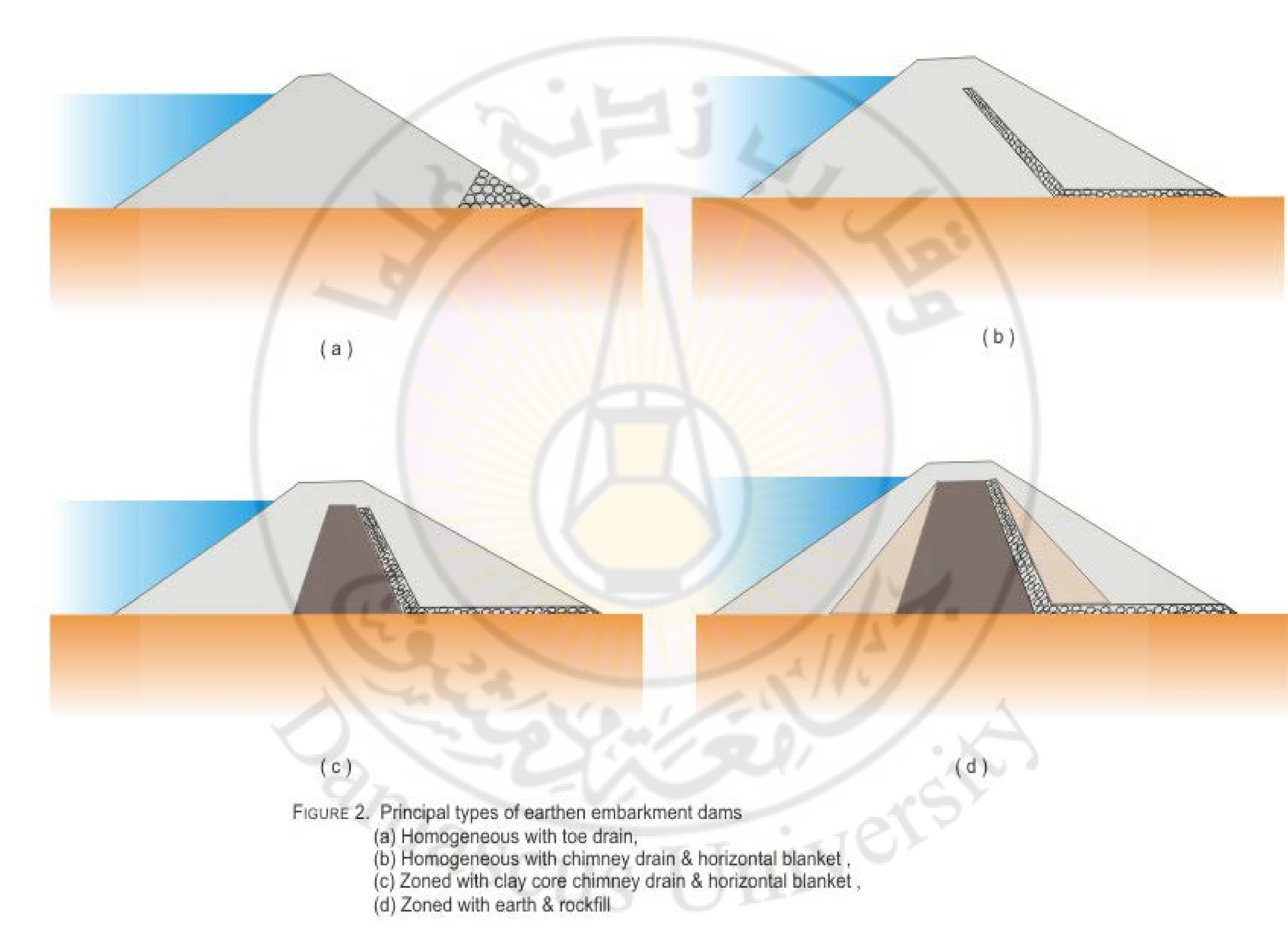


FIGURE 2. Principal types of earthen embarkment dams
(a) Homogeneous with toe drain,
(b) Homogeneous with chimney drain & horizontal blanket ,
(c) Zoned with clay core chimney drain & horizontal blanket ,
(d) Zoned with earth & rockfill

٢ـ السدود الركامية الصخرية

2-Rock-fill embankments

- في هذه الأنواع من السدود يلاحظ في تصميم المقطع العرضي استخدام نواة كتيمة (مركزية او مائلة) من المواد الترابية المرصوصة كالغضار مثلا او طبقة رقيقة من البيتون آو البيتون الإسفلتي لكن معظم حجم السد مشكل من مواد ركامية
- coarse grained gravels, crushed rocks or boulders.
- ان استقرار الجزء الساند للسد (المواشير على طرفي النواة)يعتمد على قوي الاحتكاك

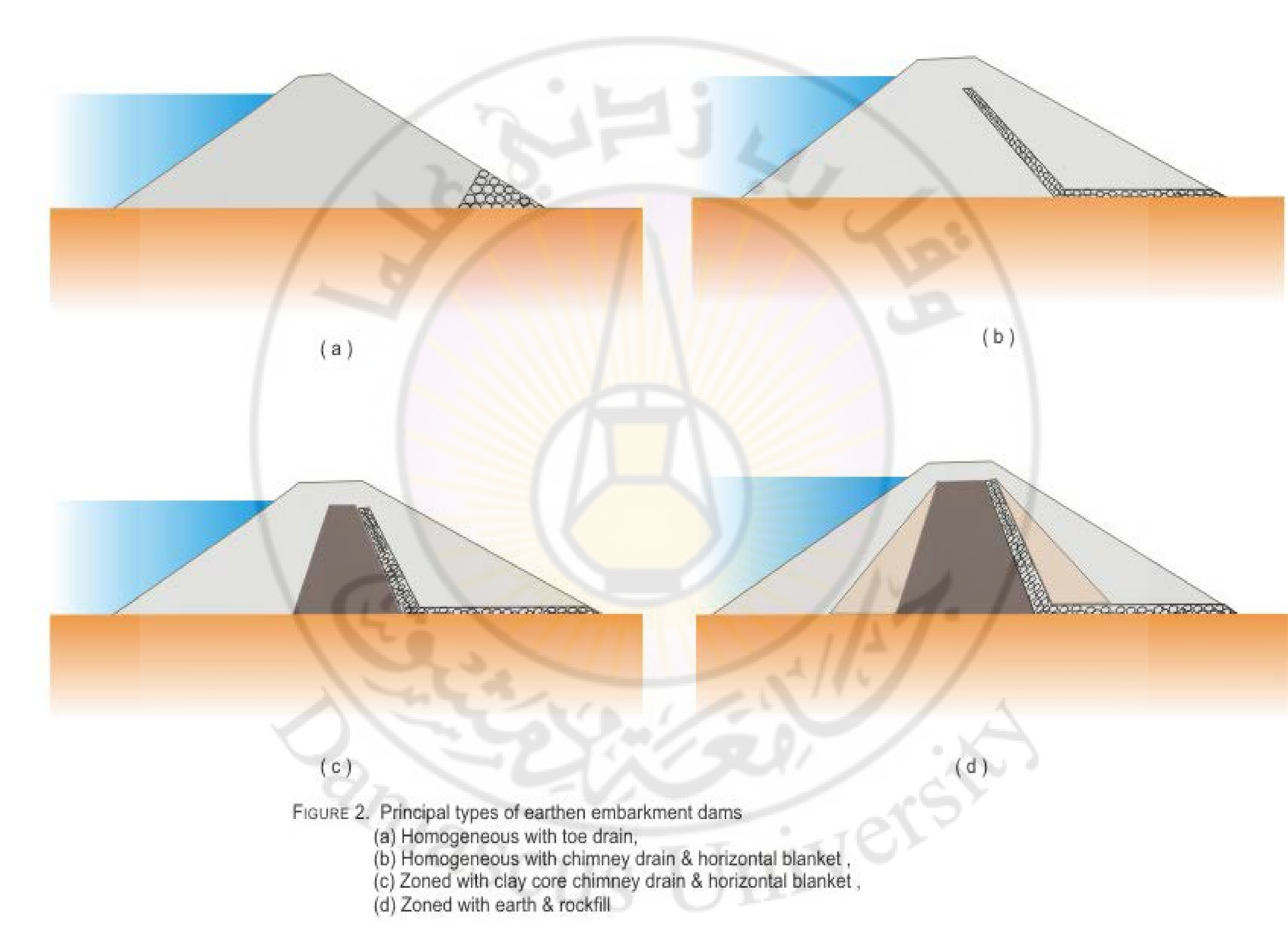


FIGURE 2. Principal types of earthen embarkment dams
(a) Homogeneous with toe drain,
(b) Homogeneous with chimney drain & horizontal blanket ,
(c) Zoned with clay core chimney drain & horizontal blanket ,
(d) Zoned with earth & rockfill

سد ركامي بنواة اسفلتية

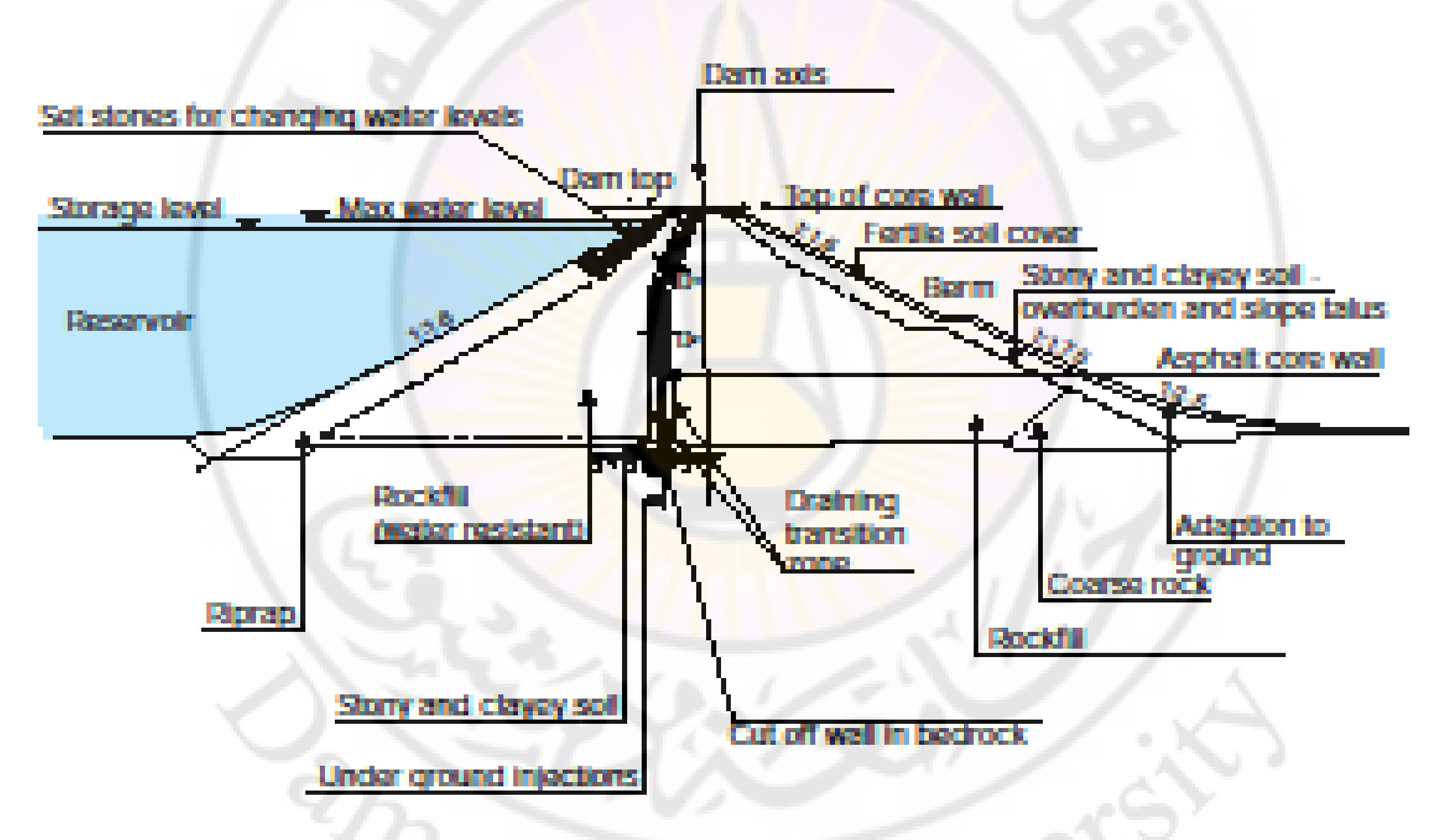


Figure 8.1 — Typical cross-section of a dam with asphaltic concrete core wall

Back

سد ركامي بستارة اسفلتية سطحية

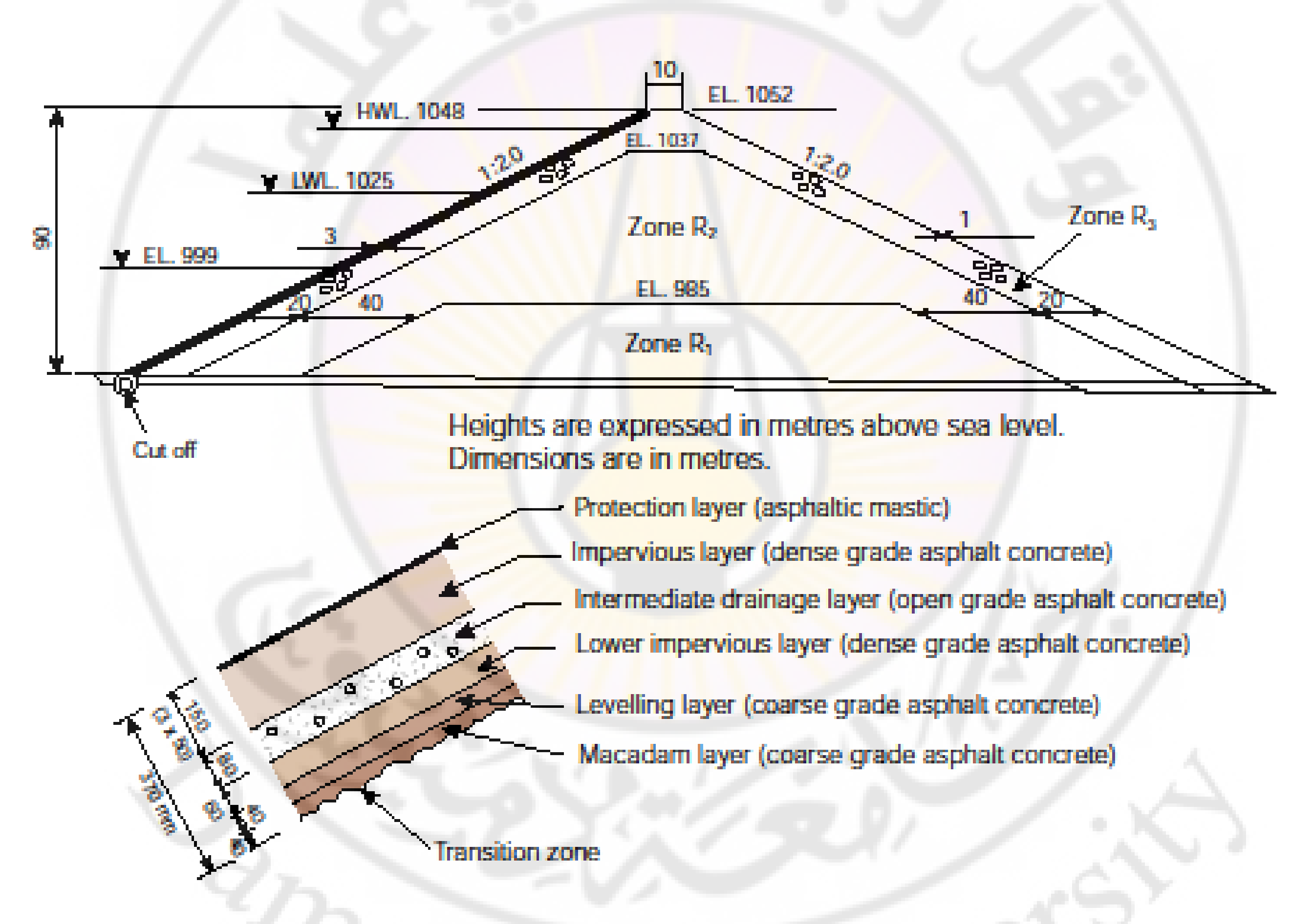


Figure 7.26 — Yashio dam, Japan 1992: cross-sections of dam with inspection gallery and facing[7]

Back


Roller Compacted Concrete

السدود البيتونية أو الخرسانية

Concrete Dams

- بدأ استخدام البيتون الكتلي منذ حوالي ١٩٠٠ بسبب سهولة التنفيذ والتصميم المناسب مثلا ان يشتمل جسم السد على منشأة المفيض
- ومنذ ١٩٥٠ تم البدء برفع مقاومة البيتون الكتلي باستخدام بعض الإضافات بهدف خفض الحرارة المنتشرة من تفاعل الاسمنت والماء أثناء التصلب وتجنب الآثار الضارة الناتجة كالتشقق مثلا وخفض الكلفة لأن بعض الاضافات تسمح باستخدام كمية اسمنت اقل
- سنصف فيما يلي الأنواع الرئيسية للسدود البيتونية

١- السدود الثقلية
Gravity dams

- السد الثقلي هو الذي يعتمد استقراره بشكل كامل على وزنه الذاتي
- المقطع الأساسي للسد الثقلي هو الشكل المثلثي والذي يعدل لأسباب تنفيذية وعملية عند القمة كإنشاء طريق يقتضي تعديل عند القمة

.بعض السدود الثقلية تكون منحنية بالمسقط مع انحناء باتجاه عالية النهر (towards the river upstream) وذلك للاستفادة من الفعل القوسي

مقطع عرضي في سد ثقلي
Gravity Dam

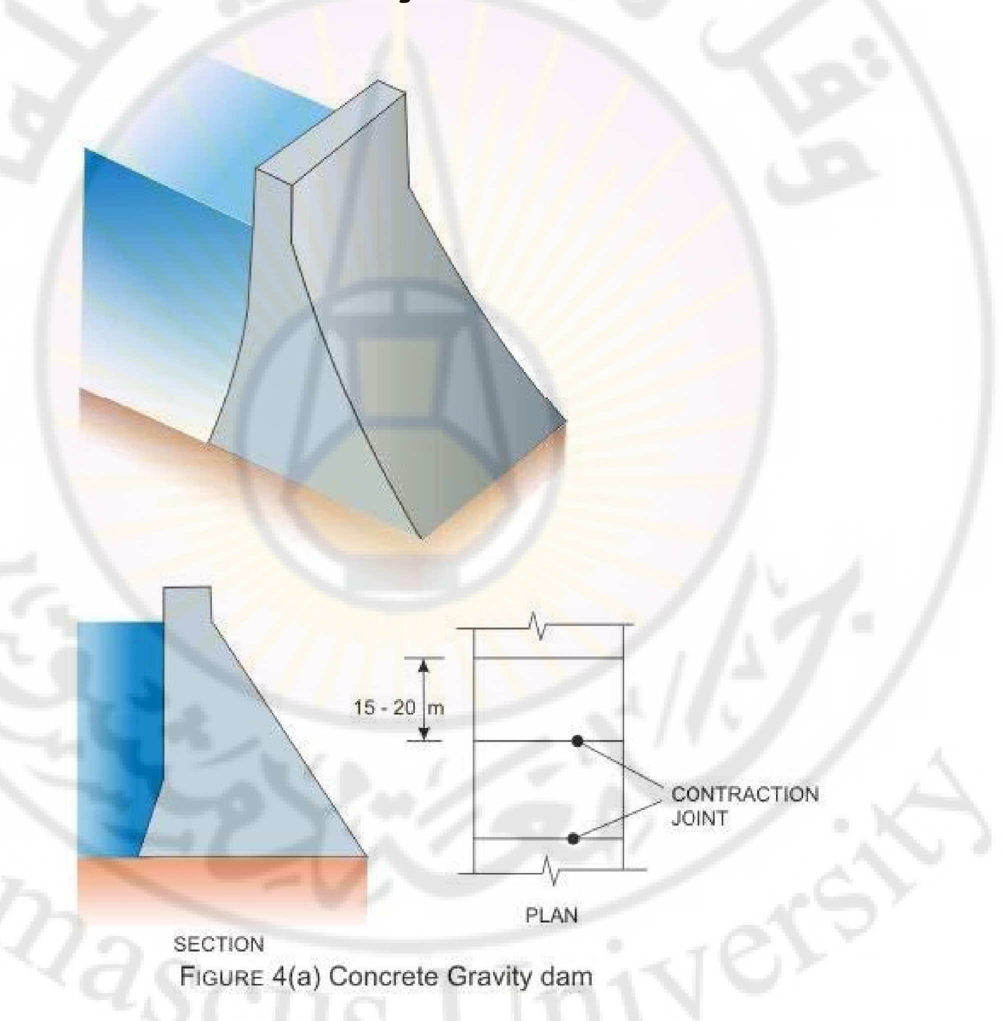
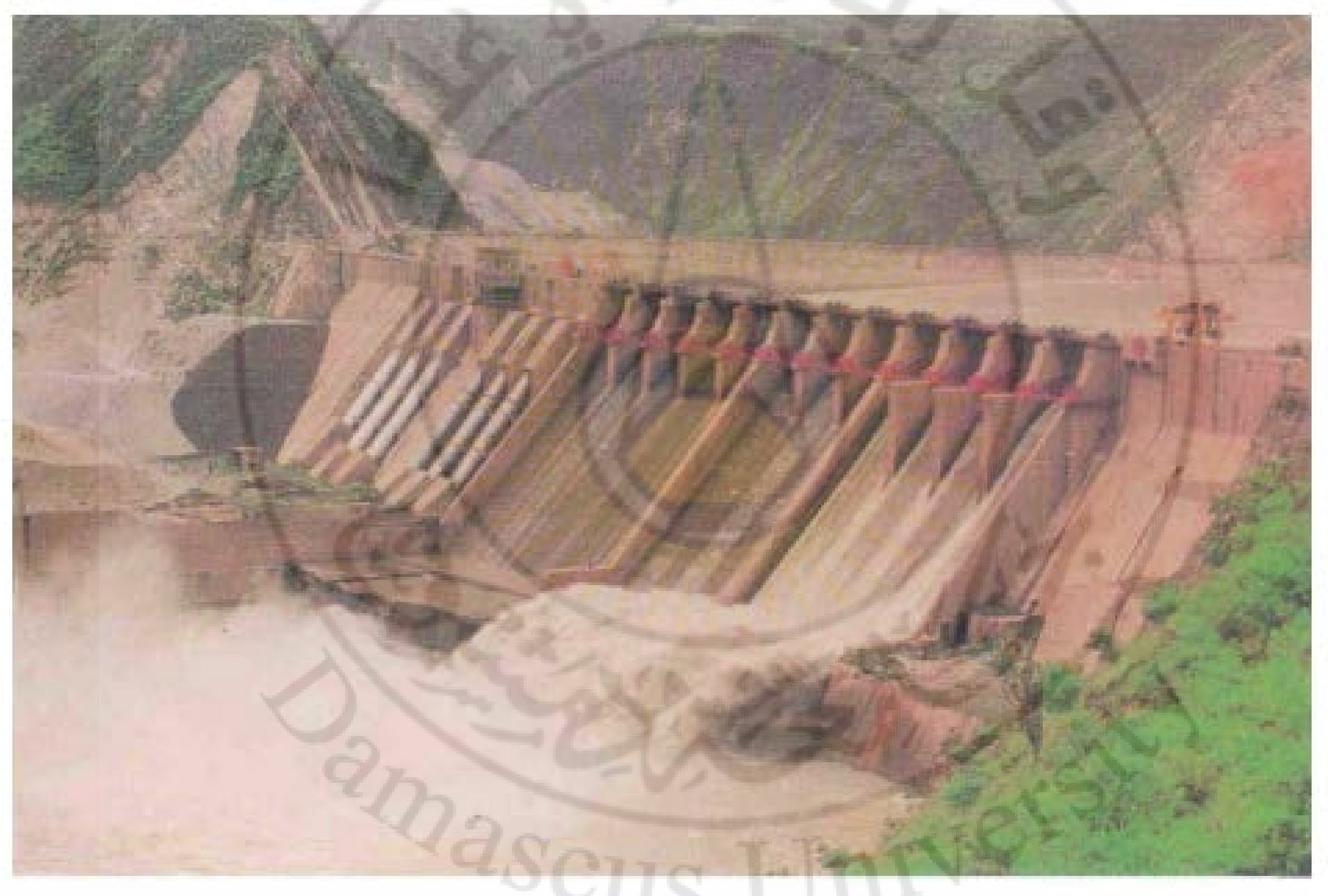


FIGURE 4(a) Concrete Gravity dam

Gravity dams

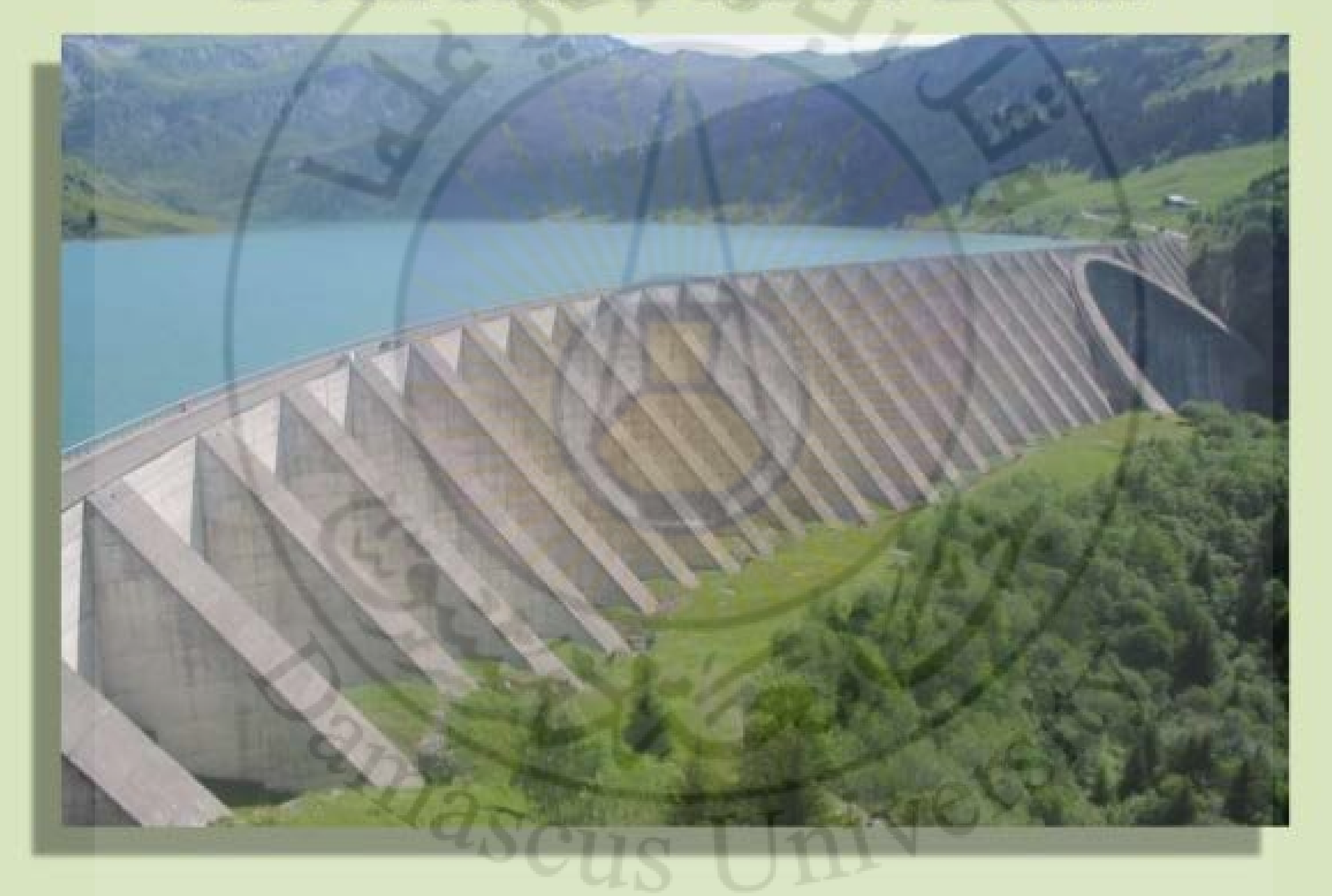


Salal project on river Chenab showing energy being dissipated by ski-jump bucket type energy dissipators

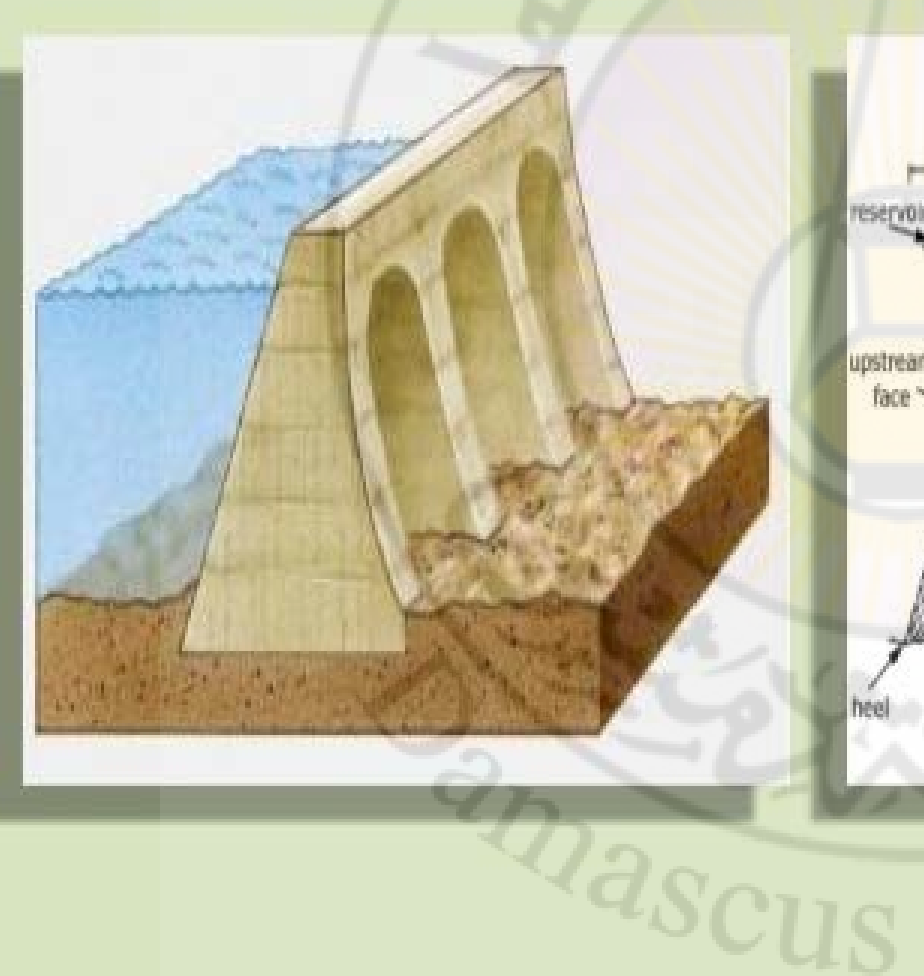
٢- السدود الدعامية
Buttress dams

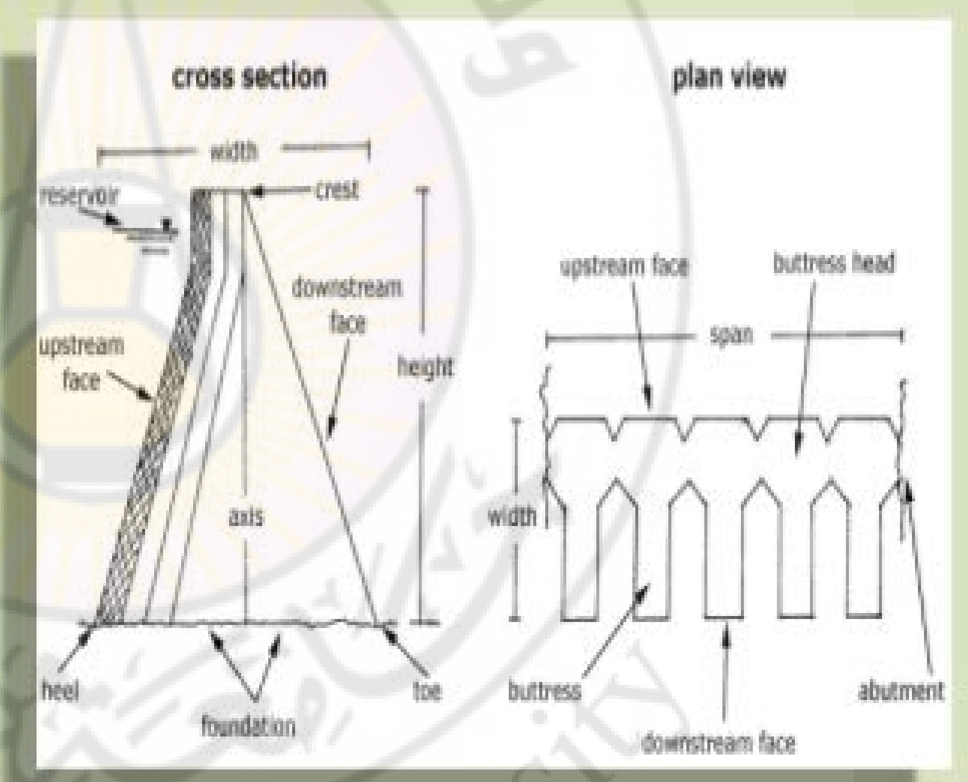
- يتألف هذا النوع من السدود جسم خرساني من جهة الماء يستند الى دعامات على مسافات متساوية من جهة الوطى (الخلفية)
- هذا النوع عموما اخف من الكتلي المصمت لكن من المحتمل تولد اجتهادات على الأساسات تكون أعلى قليلا لان معظم الأحمال تنتقل إلى الأساسات عبر الجدران ولا تنتشر بشكل منتظم كما في السدود الثقلية

Deck Slab Buttress Dams

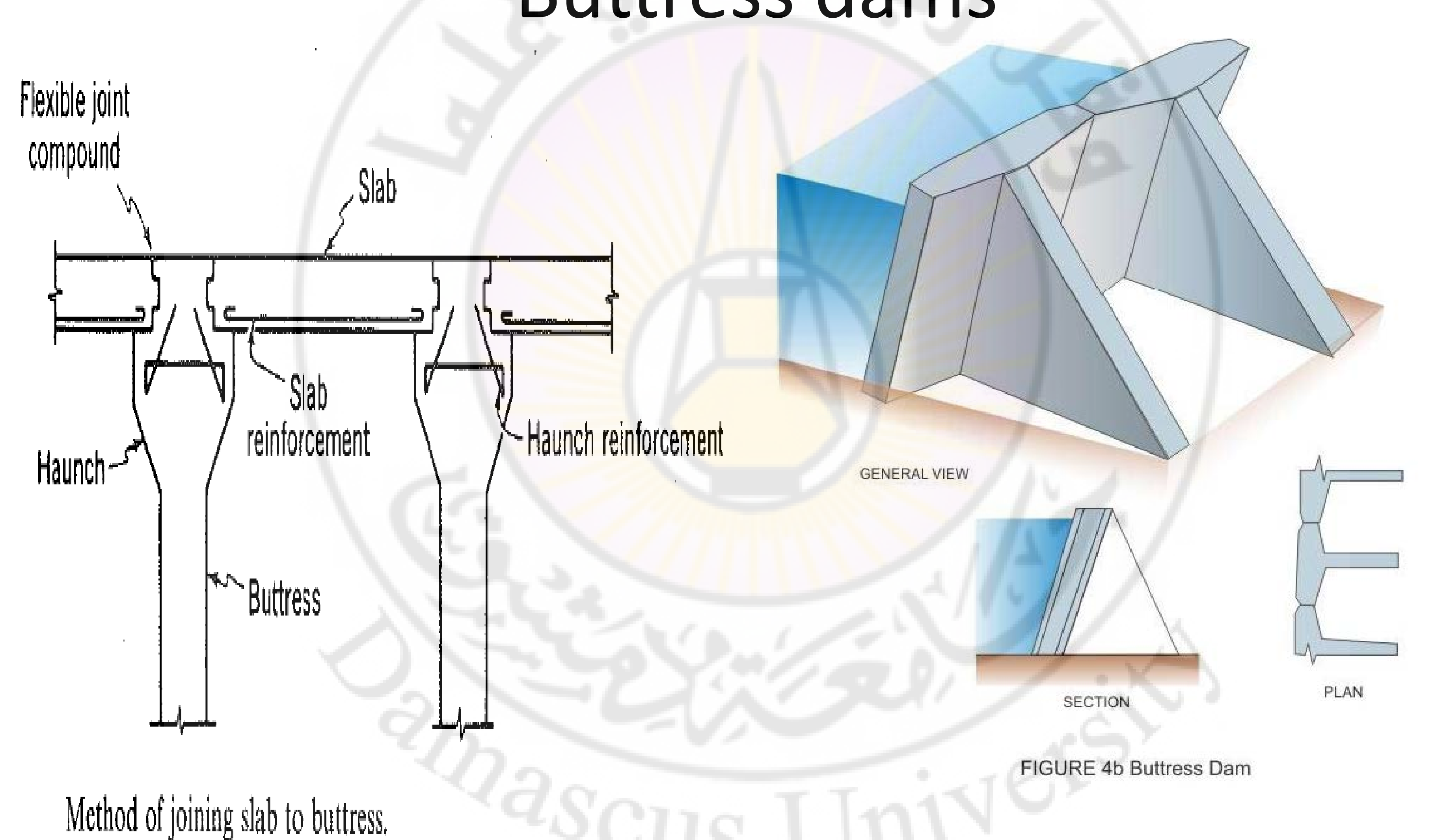


The Essential Components of Buttress Dam





مقطع يبين سد دعامي
Buttress dams



Method of joining slab to buttress.

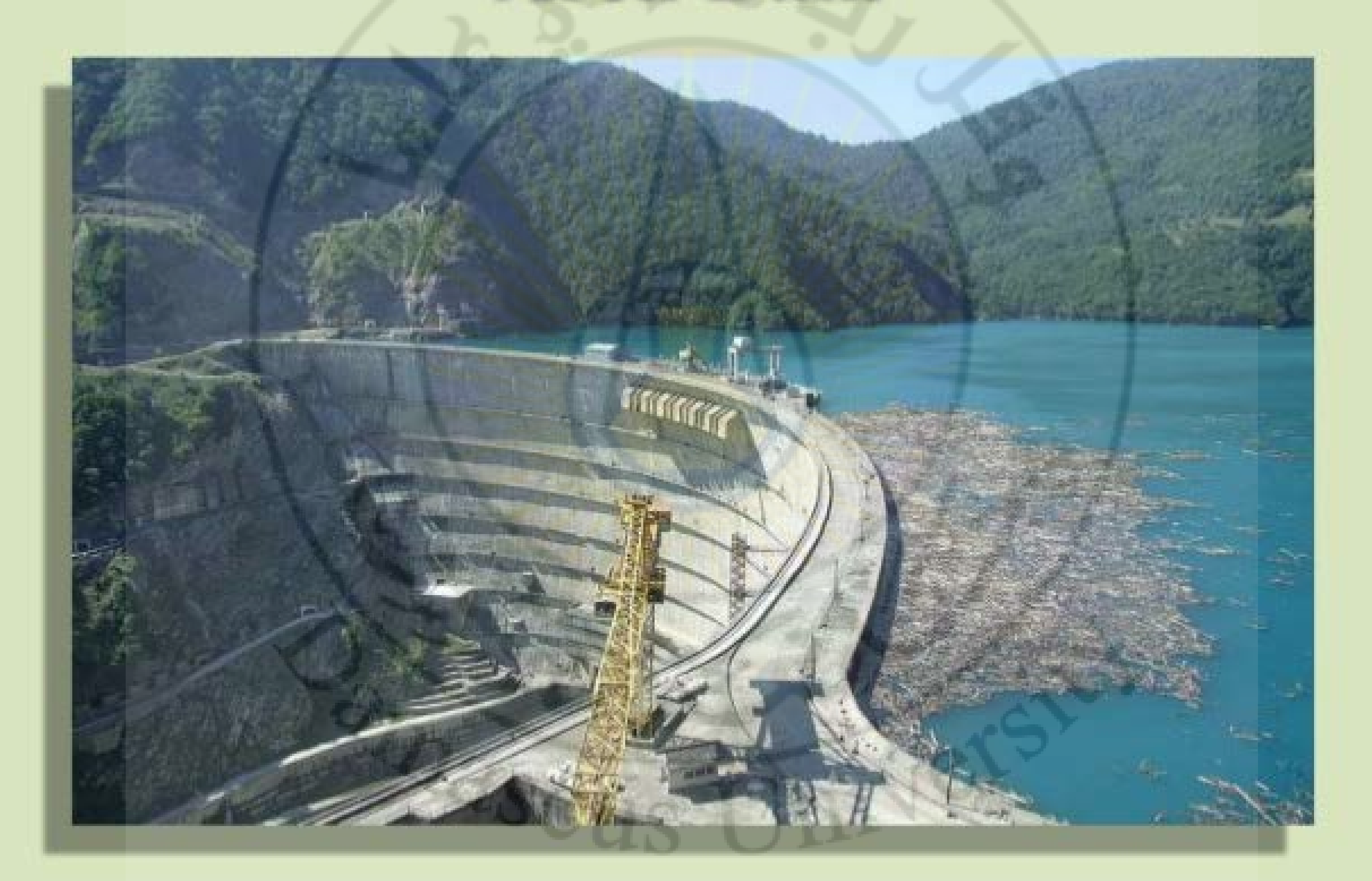
FIGURE 4b Buttress Dam

٣- السدود القوسية

3. Arch dams

- هذا النوع من السدود له انحناء كبير في المسقط الأفقي باتجاه أعلى التيار (upstream) بحيث يعتمد على الفعل القوسي لنقل أحمال وضغوط الماء إلى أكتاف السد (جدران أو سفوح الوادي)
- السدود القوسية انشائيا أكثر كفاءة من السدود الثقلية وتخفض بشكل كبير حجم البيتون المطلوب وبالتالي خفض الكلفة الاقتصادية وهنا لا بد من الإشارة إلى استخدام التسليح في السدود القوسية خلافا للثقلية
- نشير هنا إلى الشرط الأساسي لإنشاء هذا النوع هو توفر أساسات وأكتاف من الصخر الأصم الصلد sound foundation and abutments

Arch Dam



Arch dams

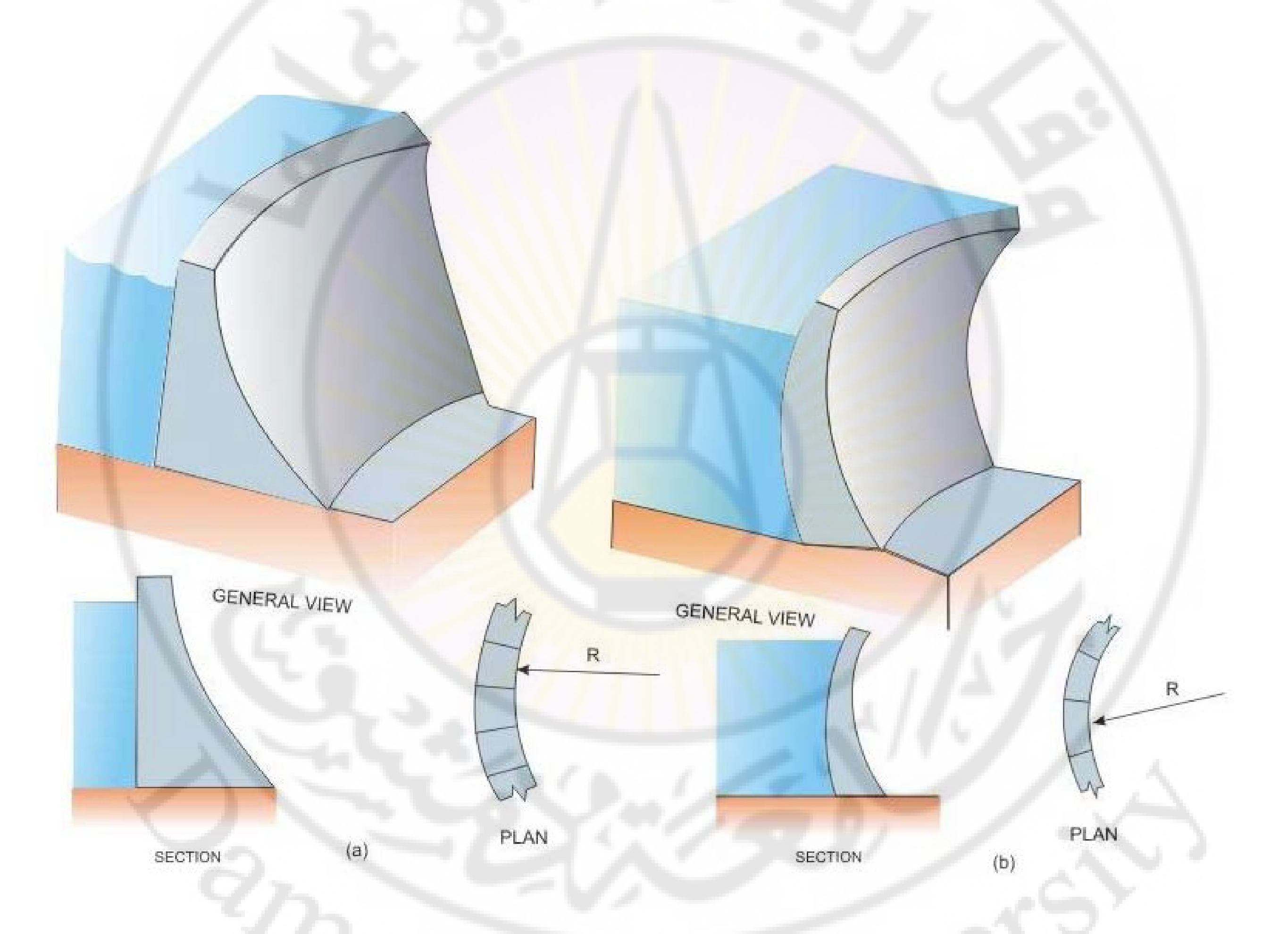


FIGURE 4. Principal types of concrete dams(continued) ; (c) Arch gravity dam ; (d) Cupola or double curvature - arch dam.

٤ـ السدود الثقلية المفرغة

3-Hollow gravity dams

- هذه السدود يتم تشكيل فراغات داخلها بهدف خفض الوزن وبالتالي الكلفة

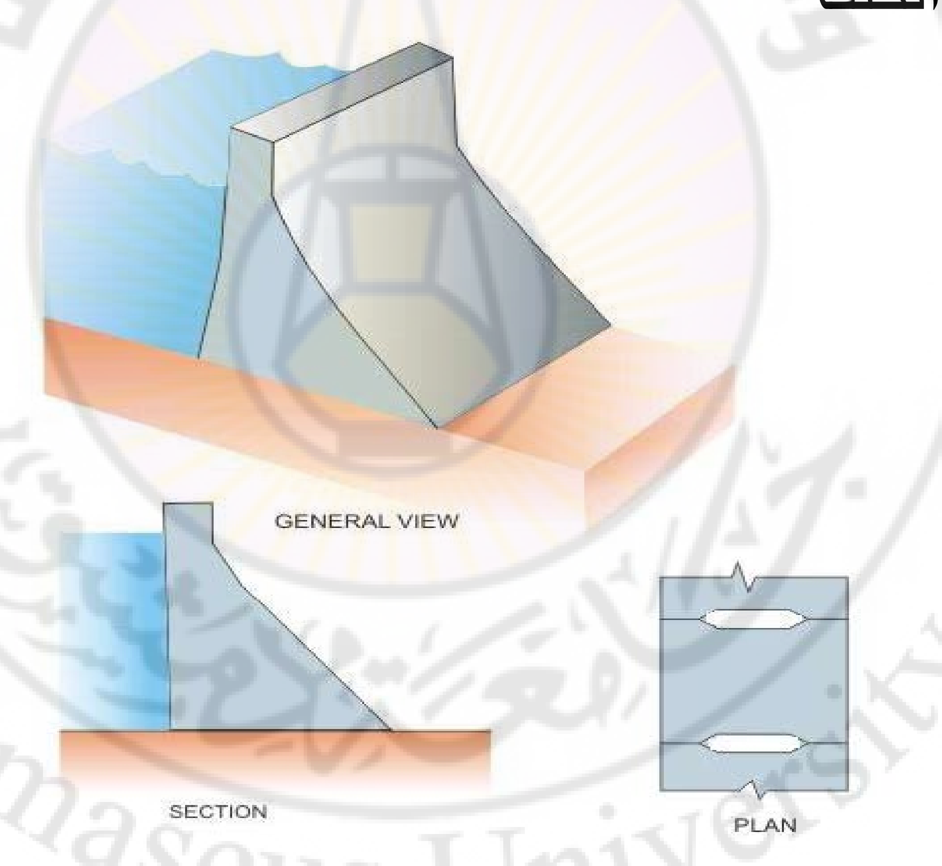


FIGURE 5a. Hollow gravity dam

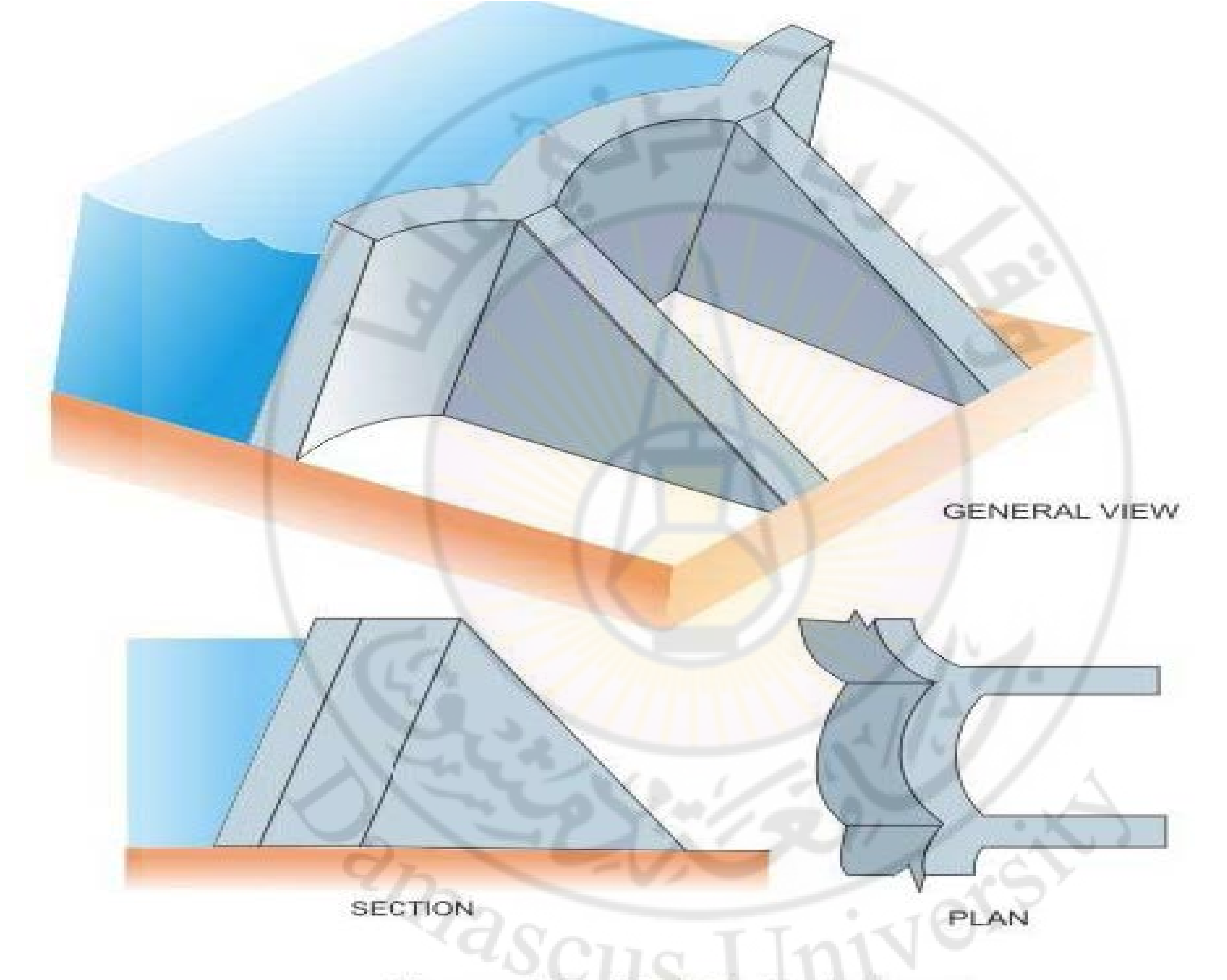


FIGURE 5b. Multiple Arch dam

بعض فوائد استخدام السدود البيتونية

- السدود الثقلية ،الدعامية أو الثقلية المفرغة تناسب كل أنواع الوديان ،عريضة او ضيقة لكن بشرط توفر الأساس الصخري الأصم الصلد المقاوم وعلى عمق متوسط تحت سرير الوادي او النهر
- السدود البيتونية غير حساسة بالنسبة لفيضان الماء فوق القمة على عكس السدود الركامية لكن من الممكن أن يحت التيار الشلال الساقط منطقة الأساس خلف السد مما يشكل خطرا على السد
- السدود الخرسانية يمكن أن تحتوي منشأة المفيض او تكون قمتها مفيض مما يجعلها أكثر ملائمة بالتصميم وهذا غير متوفر بالسدود الركامية وبهذا يتم توفير كلفة إنشاء المفيض
- السدود الثقلية أكثر مقاومة للأثر الاهتزازي

تصنيف السدود
Classification of dams

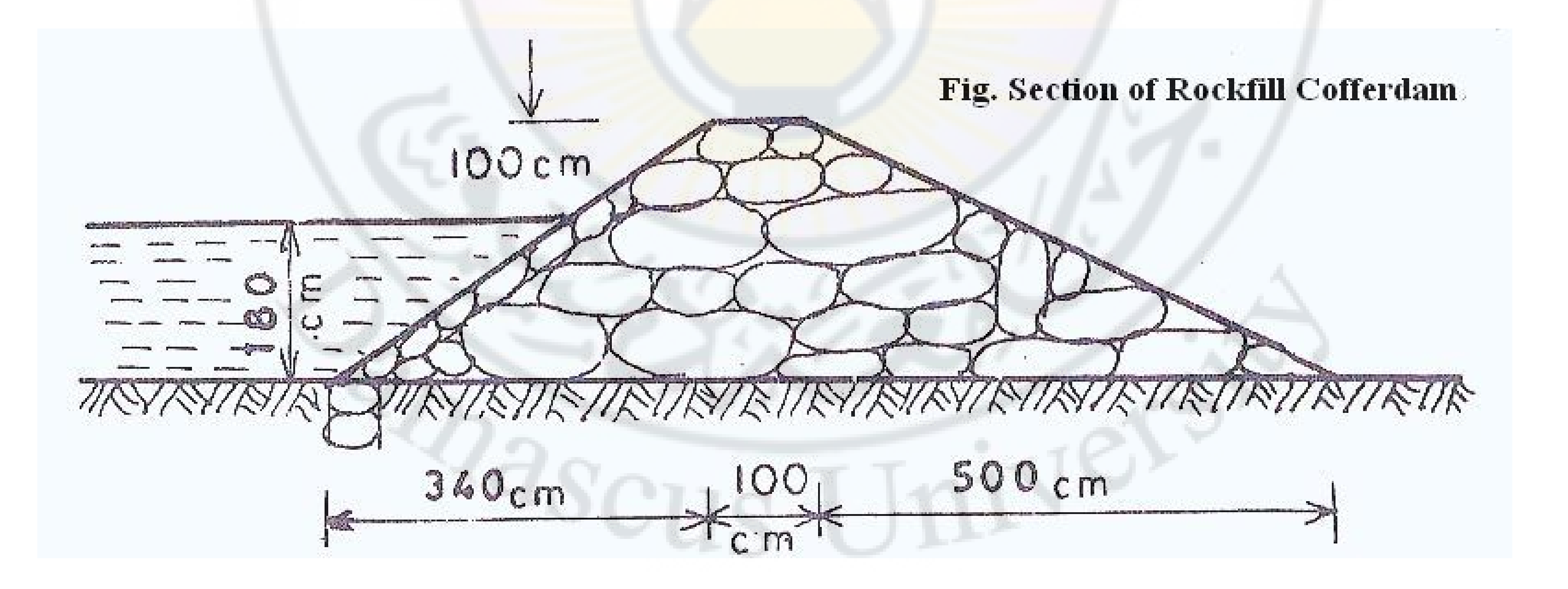
- يمكن تصنيف السدود بطرق مختلفة استنادا الى:
- ١- وظيفتها
- ٢-التصميم الهيدروليكي
- ٣- مواد الإنشاء
- ٤-التصميم الإنشائي
- ٥- الحجم والارتفاع ....الخ

١-تصنيف السدود حسب الوظيفة
Classification based on function:

- ١-سدود تخزين
- 1- storage dams or impounding dams
- ٢- سدود درء فيضان وحجز
- 2-detention dams
- ٣- سدود تحويلية
- 3-Diversion dams
- ٤- سدود مؤقتة
- 4- coffer dams

السدود المؤقتة

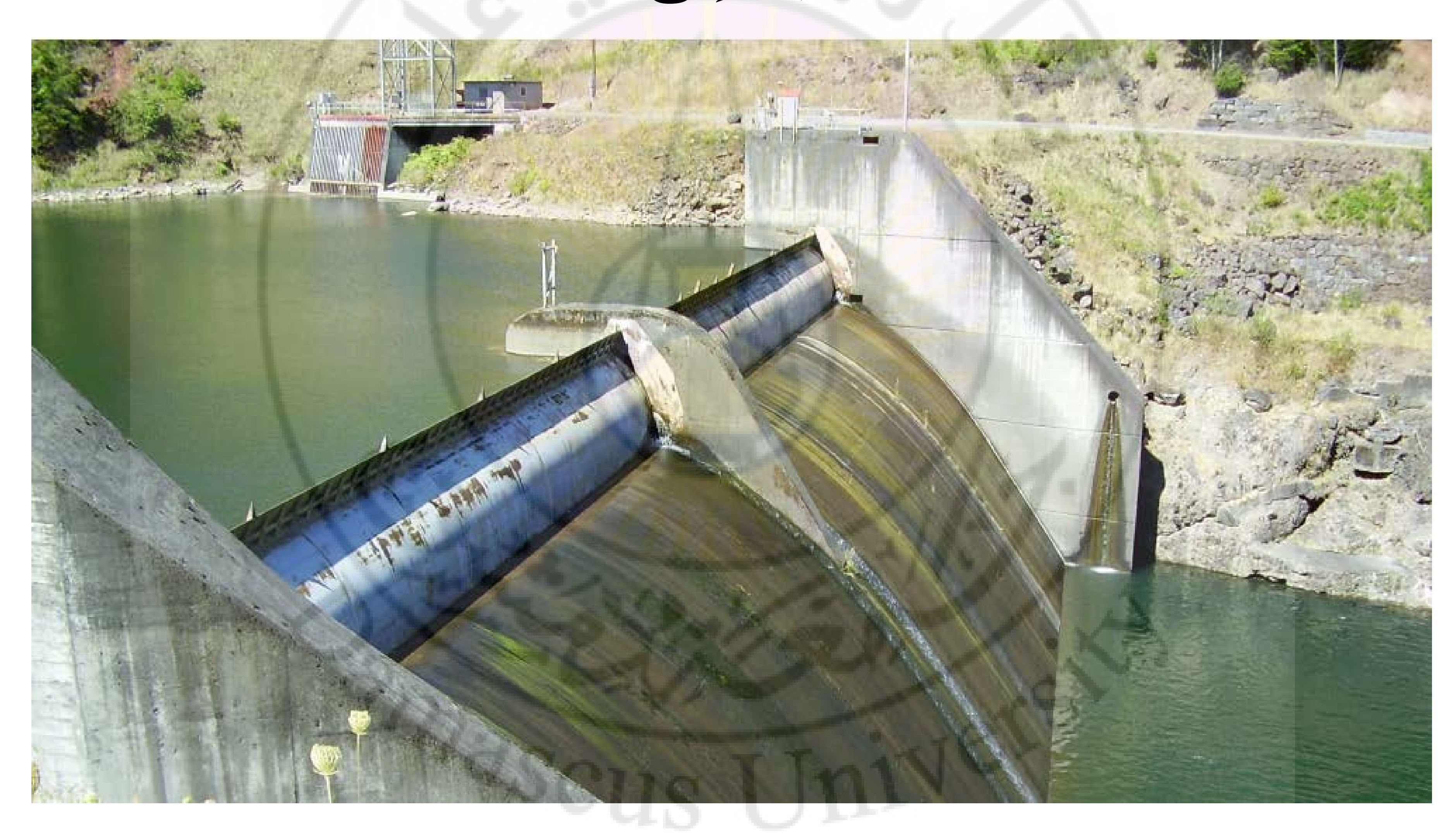
- يعرف السد المؤقت بأنه منشأة مؤقتة تشاد في عرض النهر آو أي جسم مائي لإبعاد الماء عن موقع العمل للتمكن من التنفيذ في ظروف الجفاف. انظر الشكل التالي الذي يمثل سد مؤقت لتنفيذ السد الأساسي



السدود التحويلية

- السد التحويلي هو سد يحول التدفق او التصريف المائي كليا أو جزئيا لنهر من مجراه الطبيعي .مثل تحويل المياه إلى مجرى صناعي أو قناة واتي ربما تستخدم للري أو عودة المياه إلى النهر ثانية بعد مرورها إلى محطة توليد كهرمائية

سد تحويلي يساهم في رفع منسوب المياه ليوجه المياه إلى قناة



٢- التصنيف حسب التصميم الهيدروليكي
Classification based on Hydraulic design

- ١-السدود التي تمكن من فيضان الماء فوق قمتها
- 1-overflow dam or over fall dam
- ٢-السدود التي لا تمكن من فيضان الماء فوق قمتها
- 2-Non-overflow dam

٣- التصنيف حسب مواد الانشاء

Classification based on Material of construction

- ١- سدود من مواد صلبة قاسية
- 1-Rigid dam
- ٢- سدود من مواد غير صلبة (ركامية)
- 2-non-rigid dam(embankment)

٤- تصنيف السدود حسب السلوك الانشائي
Classification based on structural behavior

- ١- سدود ثقلية
- ٢- سدود قوسية
- ٣- سدود دعامية
- ٤-سدود ركامية

- 1- Gravity dams
- 2-Arch dams
- 3- Buttress dams
- 4- Embankment dams

٥- تصنيف السدود حسب الحجم
Classification based on size

- تصنف السدود حسب الحجم وفق معايير دولية مختلفة تختلف من بلد لآخر فمثلا في الهند نجد :
- ١-سدود صغيرة (حجم تخزين السد بين ٠.٥ حتى ١٠ مليون متر مكعب) والضاغط المائي امام السد ٧.٥ حتى ١٢ متر
- ٢-سدود متوسطة (حجم تخزين السد بين ١٠ حتى ٦٠ مليون متر مكعب) والضاغط المائي أمام السد ١٢ حتى ٣٠ متر
- ٣- سدود كبيرة (حجم تخزين السد اكبر من ٦٠ مليون متر مكعب) والضاغط المائي امام السد اكبر من ٣٠ متر

اختيار موقع السد
Selection the dam site

- **يعتمد اختيار موقع السد على العوامل التالية:**
- ١-يجب أن يتوفر الأساس المناسب في موقع السد، إلا انه ممكنا تحسين ظروف الأساسات بمعالجة خاصة
- ٢- ان طول السد يجب إن يكون قصيرا قدر الإمكان ويجب أن يحجز كمية كبيرة من المياه هذا يعني أن الوادي يجب أن يكون عند موقع السد ضيقا قدر المكان لسعة تخزين مرتفعة
- ٣-موقع المفيض المناسب يجب إن يكون إلى جانب أو بالقرب من السد إذا كان المفيض منفصلا عن السد
- ٤-من وجهة النظر الاقتصادية فان حجم المواد للتنفيذ يجب أن تكون عند موقع السد او بالقرب منه

اختيار موقع السد

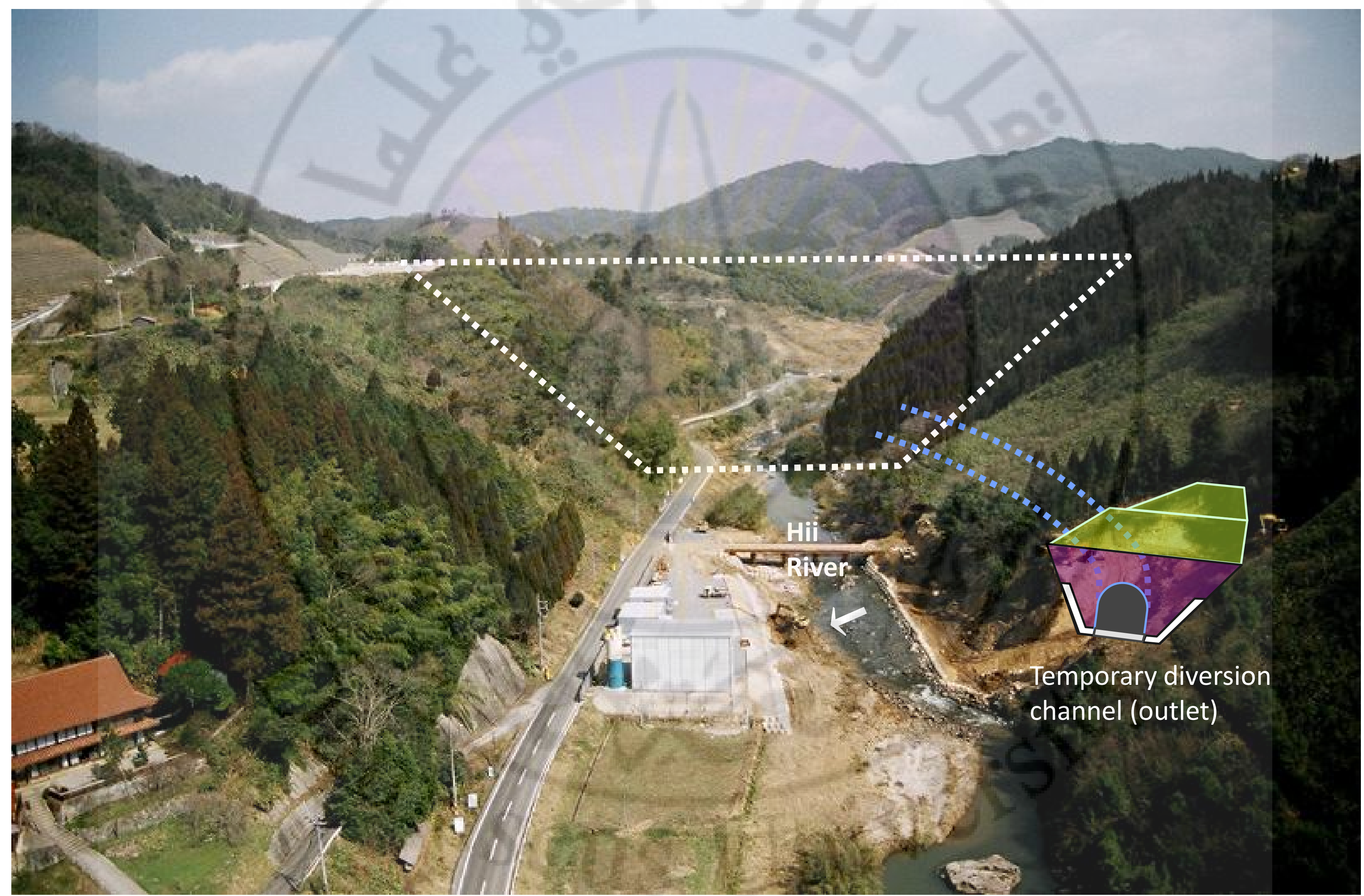
Selection of site for a dam

- ٥-إن بحيرة السد يجب أن تكون كتيمة إلى منسوب التخزين

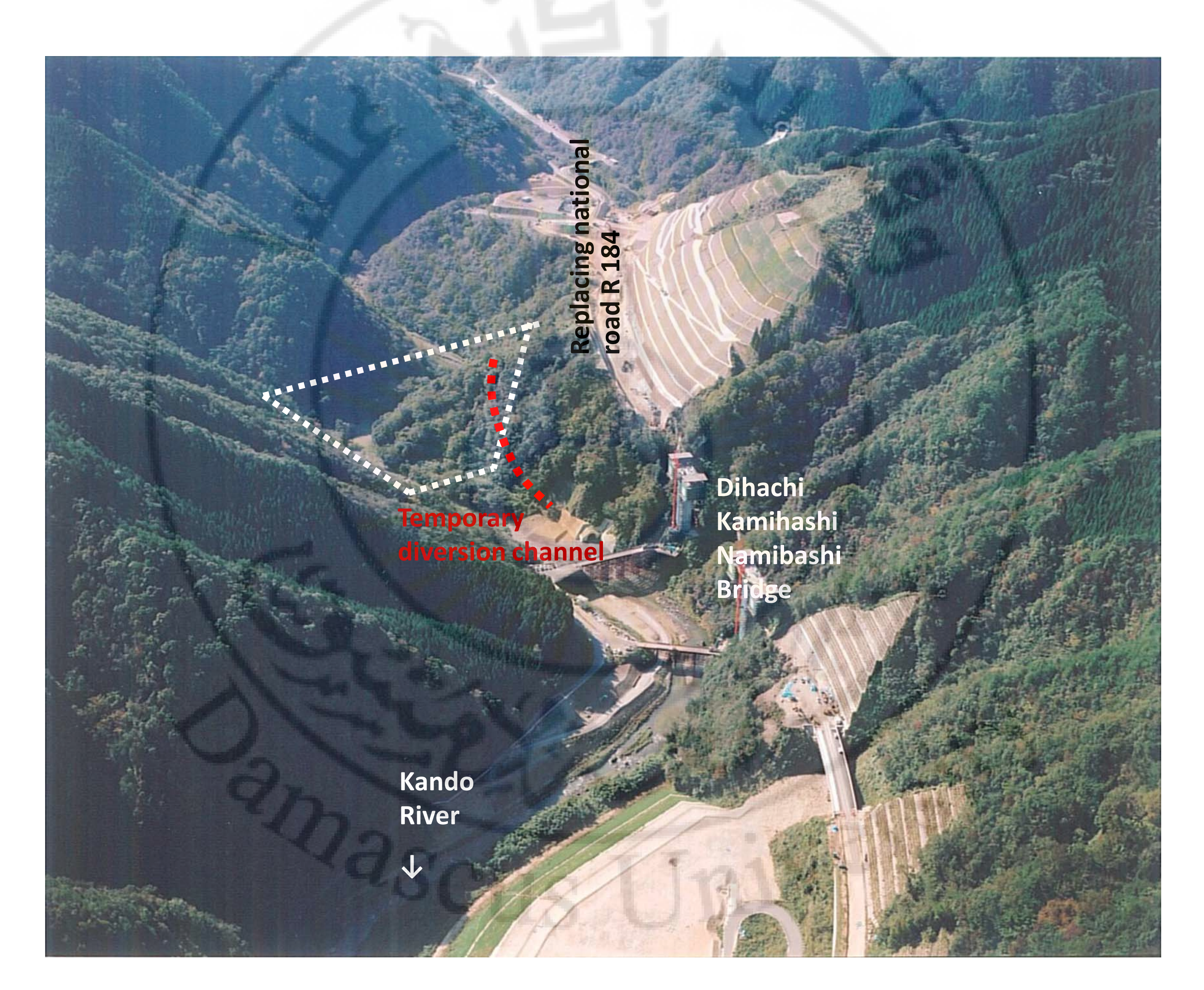
- ٦- الأملاك العامة التي ستغمر بسبب البحيرة يجب ان تكون قيمتها اصغر ما يمكن

- ٧-موقع السد يجب ألا يسمح بملء البحيرة بالطمي بوقت قصير
- أي إذا كان احد أفرع الوادي يجلب كميات كبيرة من الطمي فان موقع السد يتم اختياره في منطقة اعلي من هذا الفرع
- ٨-يجب توفر سهولة الوصل لموقع السد أي ان يكون بجانب خطوط المواصلات
- ٩-يجب أن يتضمن موقع السد إنشاءات قليلة (وجود منشآت ستغمر بالبحيرة)وكلفة صيانة لاحقة دنيا

Obara Dam Site



Dam site



Replacing national road R 184
Temporary diversion channel
Dihachi Kamihashi Namibashi Bridge
Kando River
↓

العوامل المؤثرة في اختيار نوع السد

Factors governing selection of type of dam

- بعد اتخاذ القرار بضرورة إنشاء سد في عبر مجرى مائي فان الانتباه يتوجه إلى موقع أو يفضل موقعين أو ثلاثة بديلة يكون مقطع المجرى فيه ضيق وتكون هذه المواقع مناسبة مبدئيا من الفحص البصري الأولي.

- فحوصات تفصيلية ربما تنفذ لفحص عملية الاختيار لتحقق الملائمة الاقتصادية والتقنية والملائمة للتنفيذ
- التحريات المختلفة والتي تنفذ لإنهاء تصميم سد محدد تختص بتحديد نوع السد،ارتفاعه،طريقة التنفيذ .... الخ سنذكرها لاحقا:

العوامل المؤثرة في اختيار نوع السد
Factors governing selection of type of dam

- ١- الطبوغرافيا وشكل مقطع المجرى المائي
- 1- Topography-valley shape
- ٢-الظروف الجيولوجية وطبيعة الأساسات
- 2- Geology and foundation conditions
- ٣-توفر مواد التنفيذ
- 3- Availability of construction materials
- ٤-موقع وحجم منشأة تفريغ الفيضان
- 4- Spillway size and location
- ٥-الظروف البيئية ورأي السكان
- 5- Environment and public opinion-
- ٦- النشاط الزلزالي
- 6-Earthquake zone
- ٧- الكلفة
- 7-Cost
- ٨- اعتبارات عامة
- 8- General consideration

١- الطبوغرافيا وشكل مقطع المجرى المائي

1- Topography-valley shape

- عموما فان الطبوغرافيا تملي الاختيار الأول لنوع السد والعامل الأبرز بهذا الخصوص هو شكل المجرى أو الوادي :
- ١-الوادي الضيق بشكل حرف V (A narrow V-shaped)مع أكتاف الوادي من الصخر الصلب الصم يكون الاختيار الأول هو السد ألقوسي،ولسد قوسي اقتصادي يفضل أن يكون عرض قمة الوادي اقل من أربعة أضعاف الارتفاع
- ٢- لوادي بمقطع ضيق الى متوسط بشكل حرف U(A narrow or moderately wide U-shaped) مع أساسات من الصخر القاسي هنا الاختيار الأفضل هو السد الثقلي آو **الدعامي**
- ٣-لوادي عريض وأساسات ترابية إلى عمق كبير نفكر **بالسد الركامي**

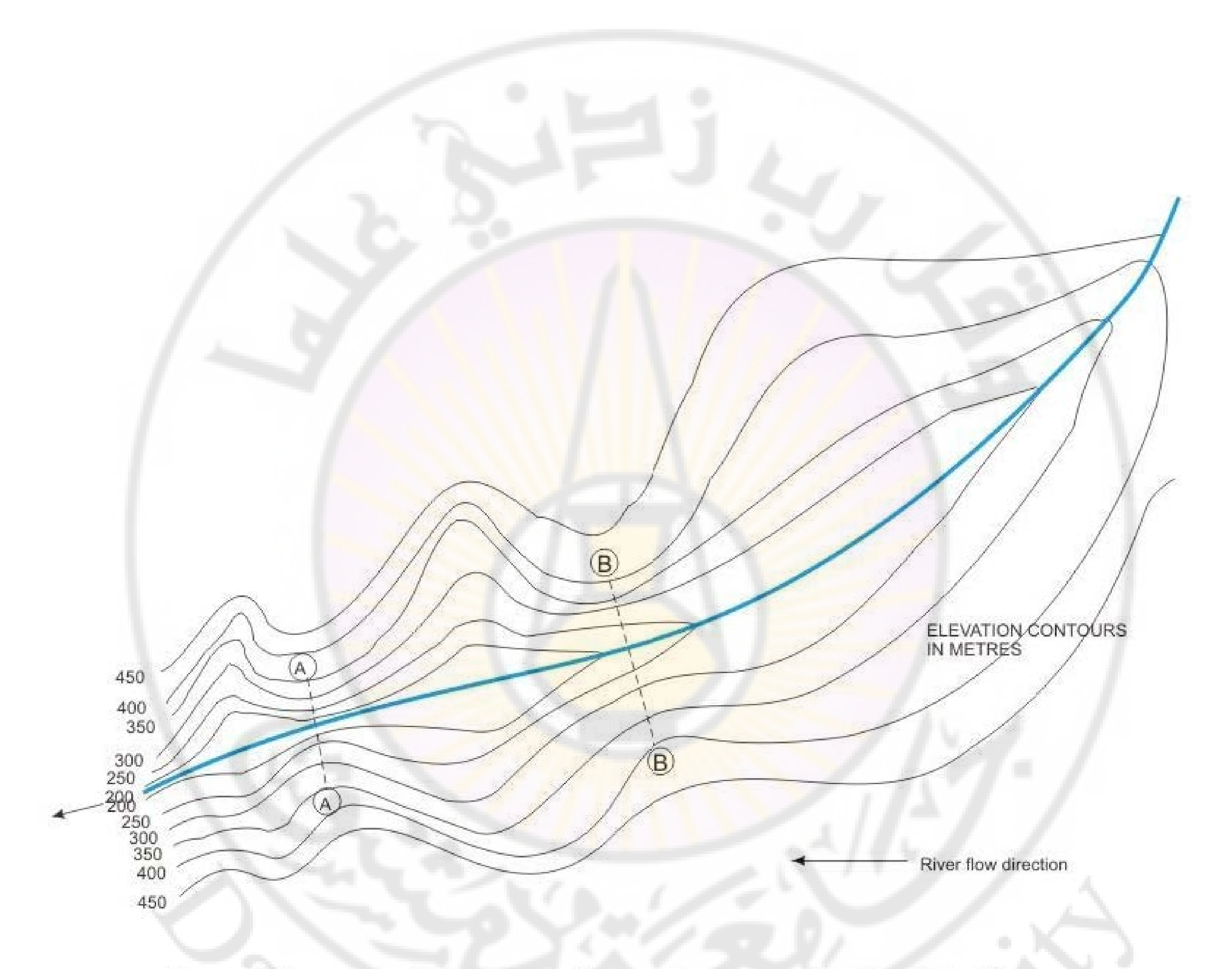


FIGURE 6. Topography of a typical damsite area showing possible alternate location

Topography-valley shape

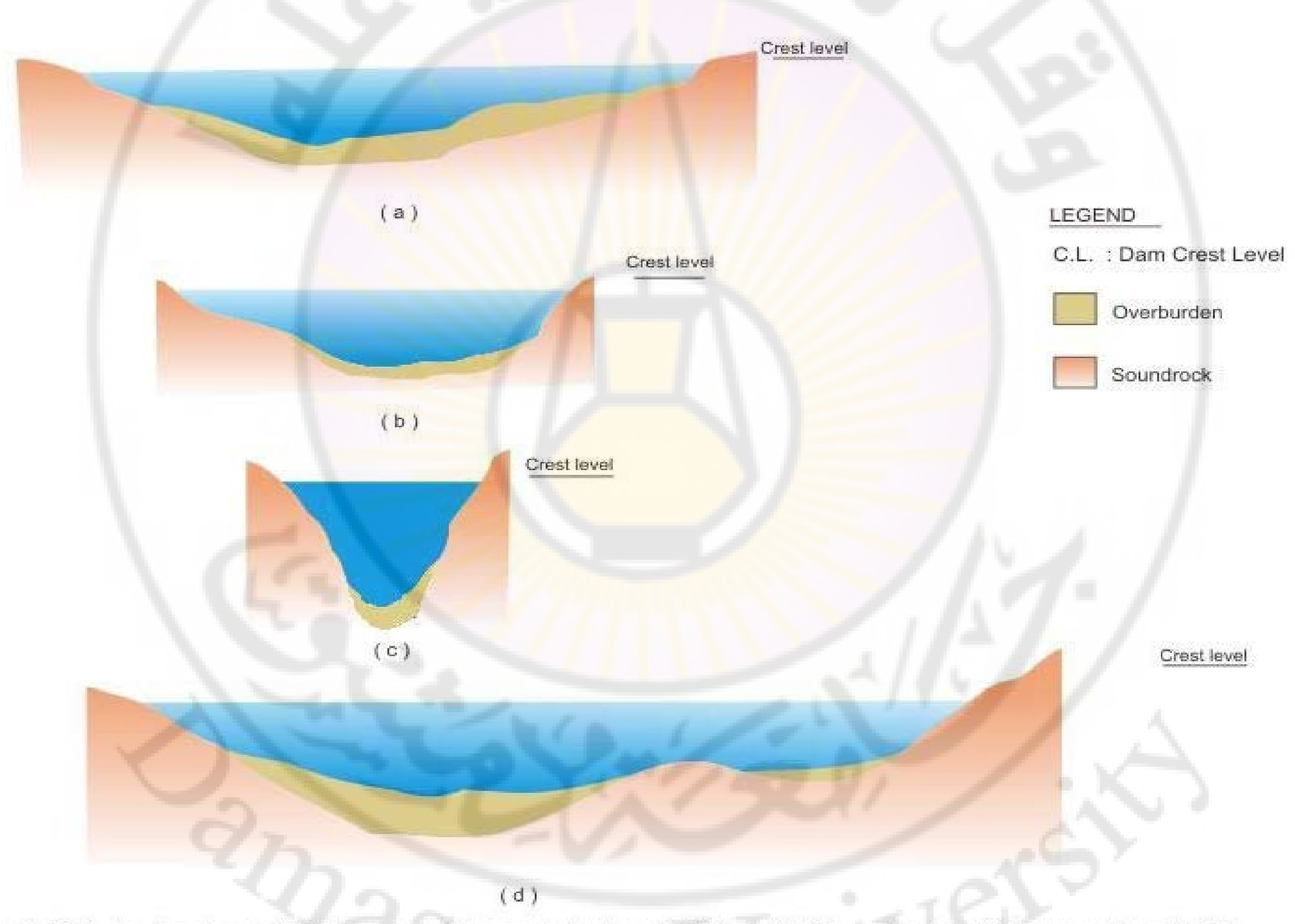


FIGURE 7. Typical valley shapes (a) Wide valley with deep overburden ; (b) Valley with little overburden ; (c) Narrow valley with little overburden ;(d) Valley with irregular depth of overburden

Shitsumi Dam Reservoir

Sada-cho
Tombara-cho
Shitsumi Dam
National Route 184
National Route 184
National Route 184
Prefectural Road Kawamoto-Hata Line
Town Road Kita-Shitsumi Line
Town Road Tanigawa-Kita Line
Town Road
Town Road Tsunoi-Sakai Line
Tsunoi District Surplus Soil Disposal Site



سد محردة



سد محردة



٢-الظروف الجيولوجية وطبيعة الأساسات

2- Geology and foundation conditions

- كل القوى المؤثرة على السد بما فيها الوزن الذاتي تنتقل إلى الأساسات وبهذا فان ظروف الأساسات تحد من اختيار نوع السد لحد كبير.تعتمد ظروف الأساسات على الطبيعة الجيولوجية ،صدوع أو فوالق وسماكة الطبقات ..
- ١- أساس من الصخر الجيد (Good rocky foundation) الصخر الجيد يمتلك قدرة تحمل عالية بالإضافة إلى انه يقدم مقاومة للحت والرشح.لهذا فانه يمكن بناء أي نوع من السدود فوق مثل هذه الأساسات ، بهذه الحالة فان اختيار النوع للسد يحكم باقتصادية المواد أو الكلفة الكلية بشكل عام. أحيانا قد تظهر شقوق في الصخور أو مناطق اتصال طبقات والتي لا بد من تكتيمها بالحقن ، علاوة على ذلك فان الصخر المفتت المحطم لا بد من إزالته

2- Geology and foundation conditions

- ٢- الأساس من البحص أو الرمل الخشن
- 2- Gravel and coarse sand foundation
- هذا النوع من الأساسات غير قادر على تحمل الأحمال الكبيرة للسدود الثقلية،مثل هذه الأساسات تكون مناسبة فقط للسدود الترابية و الركامية أو السدود الثقلية بارتفاعات منخفضة حتى ارتفاع ١٥ م.وبما انه ستكون معدلات الرشح خلال هذه الأساسات مرتفعة فلا بد من لحظ مانعة رشح فعالة (effective cutoff) في التصميم أو إجراء عملية تكتيم للأساسات

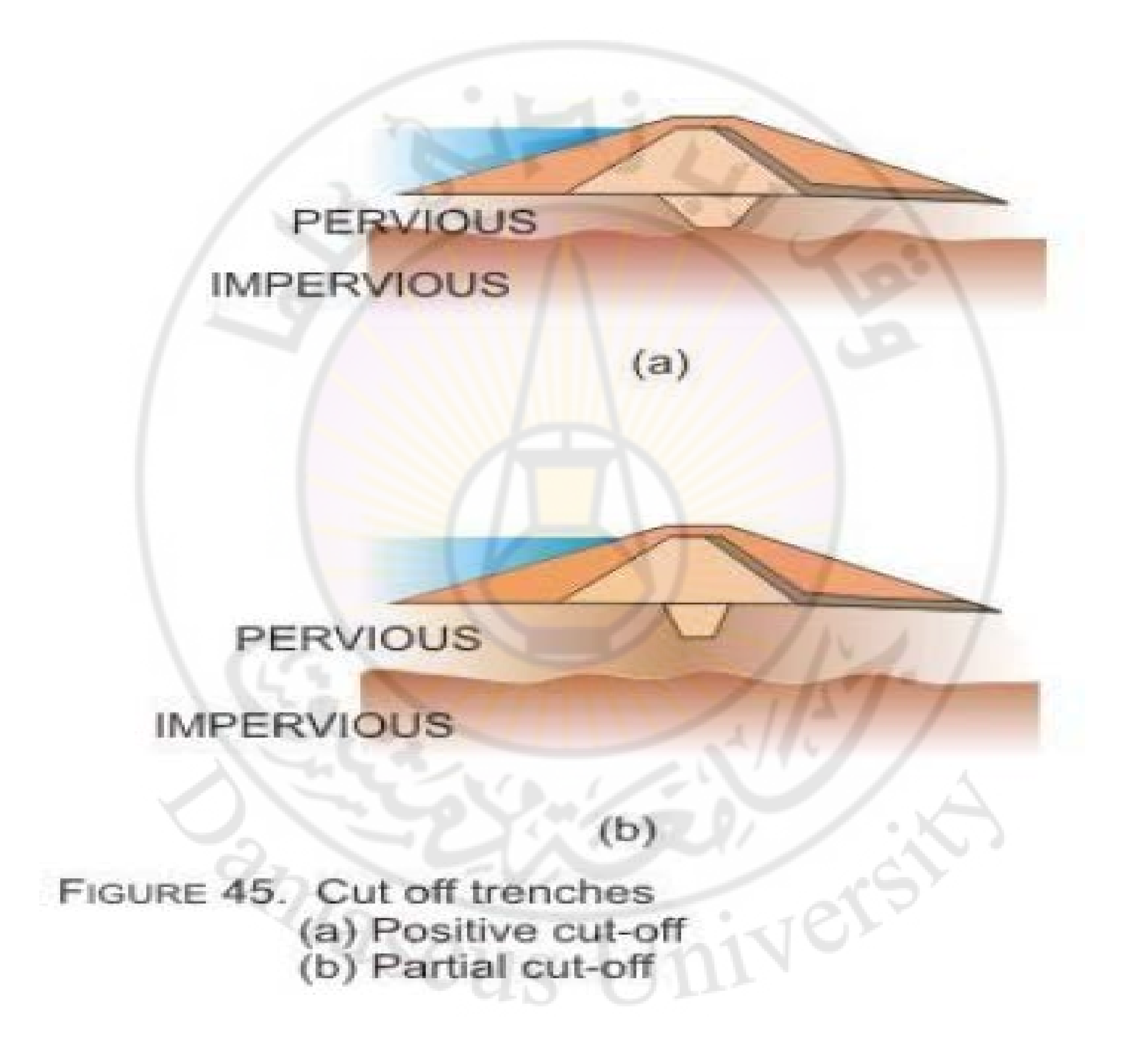


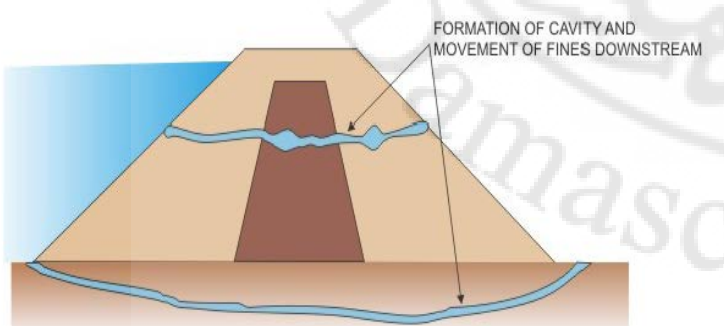
FIGURE 45. Cut off trenches
(a) Positive cut-off
(b) Partial cut-off

٢ـالظروف الجيولوجية وطبيعة الأساسات

2-Geology and foundation conditions

- ٣- أساسات من السلت أو الرمل الناعم
- 3- Silt and fine sand foundation

- هذه الأساسات تناسب فقط السدود الترابية أو السدود الثقلية ذات الارتفاعات المنخفضة حتى ٨ م ، وهي حتى غير مناسبة للسدود من الركام الصخرية.المشكلة الرئيسية في مثل هذه الأساسات هي الهبوطات ومنع ظاهرة الأنبوبية(piping) والرشح الزائد للماء وحماية الأساسات في منطقة ما بعد السد من الحت (downstream)
- في حال وجود الركام الصخري على جانبي النواة (وبحال كون السماكة للفلاتر غير كافية)فان الهبوط الزائد للأساسات وبحال انغماس جزء من الركام الصخري داخل أطراف النواة فان الهبوط الزائد للنواة فوق الأساس السيلتي سيحدث تشققات خلالها



2- Geology and foundation conditions

- ٤- الأساسات الغضارية
- 4- Clay foundations

- ربما يحدث هنا هبوطات كبيرة لسد مشاد على أساس غضاري إذا كان الغضار غير موطد (unconsolidated) وكان محتوى الرطوبة عالي
- هذه الاساسات غير مناسبة للسدود الثقلية وغير مناسبة على الإطلاق للسدود التي يستخدم فيها الركام الصخري (rockfill dams)
- يمكن هنا استخدام السدود الترابية (Earth fill dams) على الأساسات الغضارية لكن تتطلب معالجة خاصة لتوطيد الأساسات (special treatment to consolidate the foundation) علاوة على ذلك يطلب اختبارات لمادة الأساسات بتضوعها الطبيعي لتحديد خواص التوطيد او الانضغاطية ومقدرة التربة على تحمل الأحمال الآتية عليها

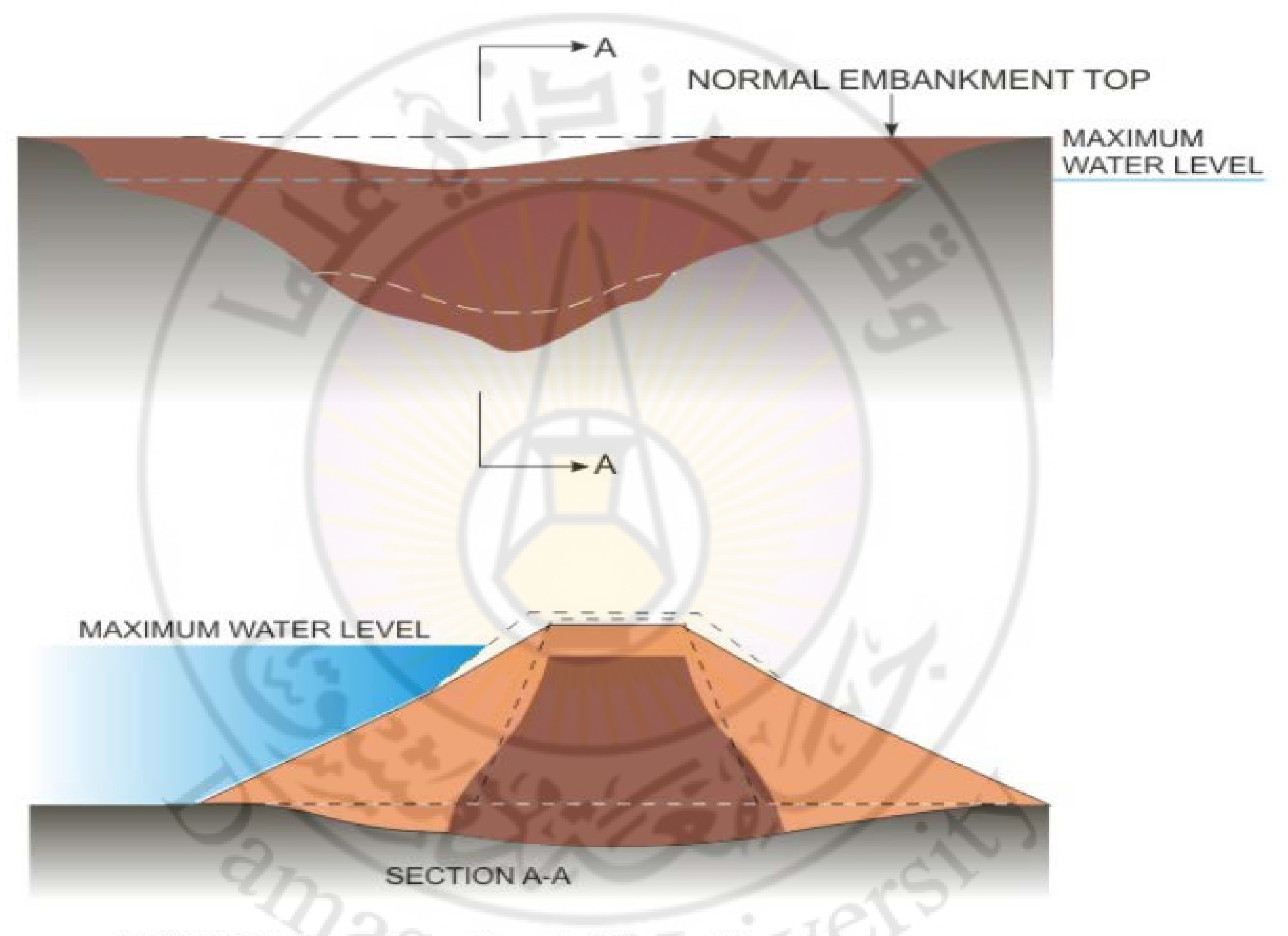


FIGURE 32. Excessive settlement of dam and foundation

2- Geology and foundation conditions

- الأساسات غير المتجانسة أو المنتظمة
- Non-uniform foundations
- من الممكن أن تكون عدة مواقع للسد من أي نوع فان الأساسات المنتظمة المتجانسة الموصوفة أعلاه غير موجودة هنا يمكن التغلب على مثل هذه الظروف للأساسات بتبني تصميم خاص أو معالجة مناسبة للأساسات

٣-توفر مواد الإنشاء

3- Availability of construction materials

- يتوقف أيضا اختيار نوع السد على مواد الإنشاء المتوفرة بالموقع المناسب بالكمية الكافية والنوعية المطلوبة جانب موقع السد وذلك من اجل خفض تكاليف نقل المواد و بالتالي خفض تكاليف السد الكلية
- اذا توفر لدينا الحصويات والرمل مثلا أو الحجر المطحون للبيتون فإننا نستخدم السد البيتوني . من جهة أخرى إذا توفرت التربة المناسبة فانه يمكن اختيار السد الترابي

٤- حجم ومكان منشأة المفيض
4- Spillway size and location

- كل سد يجب ان يحتوي على منشأة مفيض ذات استطاعة تصريف كافية لتمرير مياه الفيضان .إذا كان مجرى الوادي ضيق عندئذ ربما لا يوجد عرض كافي متوفر وموقع مناسب في محيط الخزان أو بحيرة السد لإيجاد موقع للمفيض .
- إذا لم يكن ذلك ممكنا فانه يتم صرف النظر عن الموقع ويتم اختيار بدائل أخرى .إن الحكم الجيد هو أيضا مطلوب لنقرر النوع المناسب للسد استنادا إلى اعتبارات المفيض .

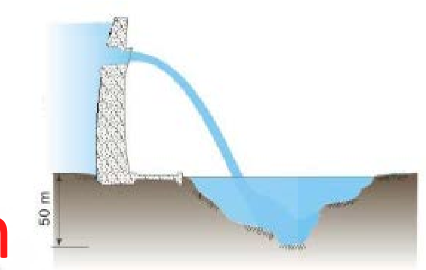
٤- حجم ومكان منشأة المفيض
4- Spillway size and location

- المفيض هو منشأة يتم التزويد بها للسد لإمرار تصريف مياه الفيضان الزائد والذي لا يمكن استيعابه من قبل بحيرة السد.
- إن حجم المفيض ونوعه يتم تحديده بشكل أساسي حسب قيمة التصريف الفيضاني ومكانه يعتمد على ظروف الموقع.
- اذا كان حجم منشأة المفيض كبيرا عندئذ يمكن دمج السد والمفيض في منشأة واحدة وهنا يخدم اختيار سد بيتوني يمكن من مرور المياه فوقه مثلا.
- من ناحية أخرى اذا كان حجم المفيض صغيرا عندئذ في موقع فيه مقطع الوادي ضيق هنا فان اختيار سد ترابي او ركامي مفضل .

٤- حجم وموقع المفيض
4- Spillway size and location

- يمكن ان يحدد موقع المفيض اما بعيدا عن موقع السد أو ضمن حدود السد فان كامل السد،اذا كان الموقع للمفيض بعيدا عن السد فان كامل السد يمكن أن يكون من النوع الذي لا يمكن من مرور الماء فوقه ،كما يمكن أن يتضمن اختيار السد أيضا الأنواع الصلبة القاسية (خرسانية).
- في بعض هذه الحالات فان قناة مفيض منفصل ربما تحفر وتستخدم نتائج الحفر في بناء السد والذي من الممكن أن يكون ترابيا ليتم استخدام كميات التربة المحفورة.
- إذا كان المفيض اختير ضمن السد هنا نختار سد قابل لفيضان المياه فوقه وبهذه الحالة فان المفيض يشغل هنا فقط جزءا من السد والباقي ربما سد لا يمكن من فيضان المياه فوقه (سد ترابي أو صخري) أو بيتوني

حجم وموقع المفيض
Spillway types and location



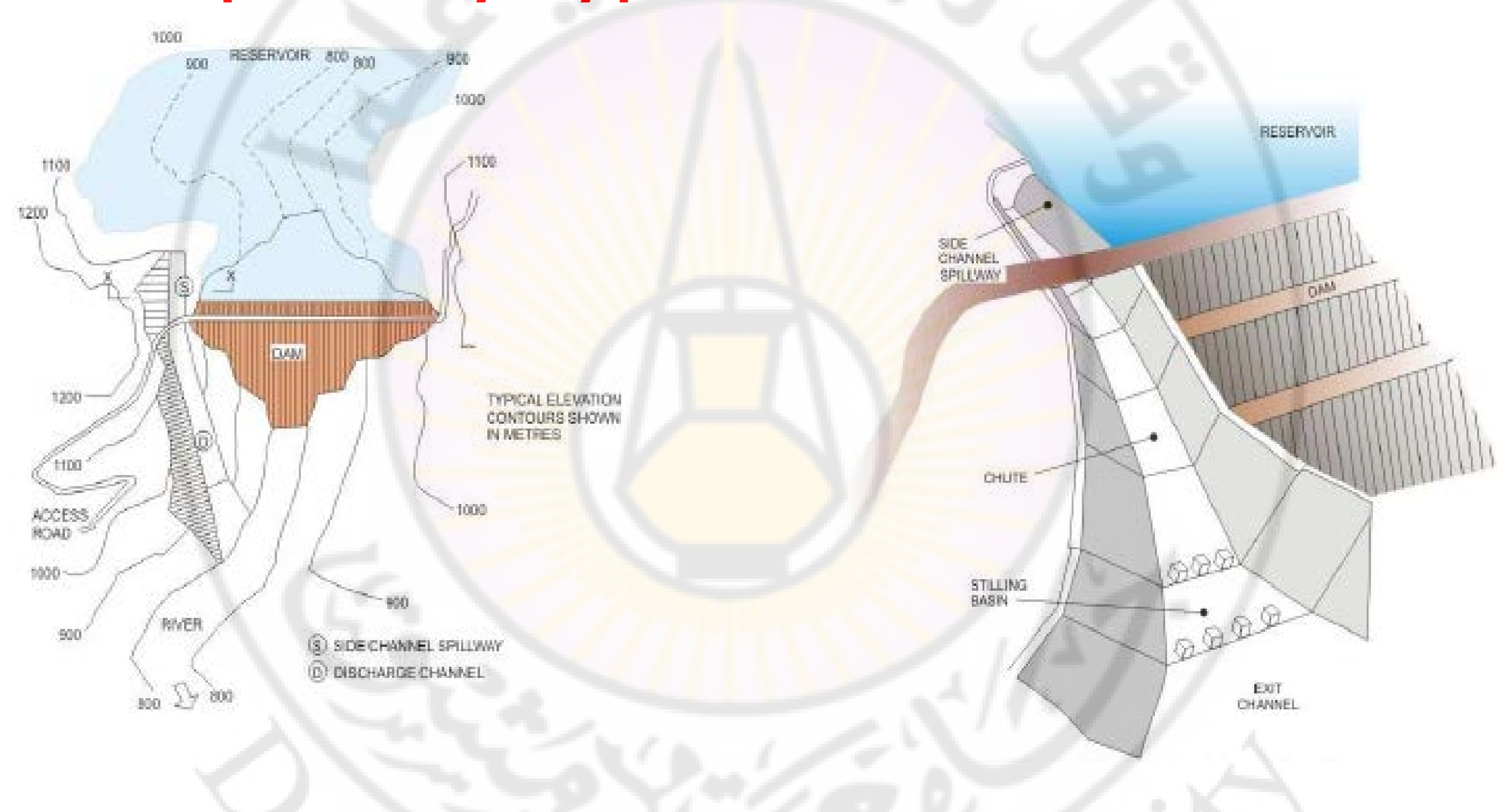


Guide / Training wall

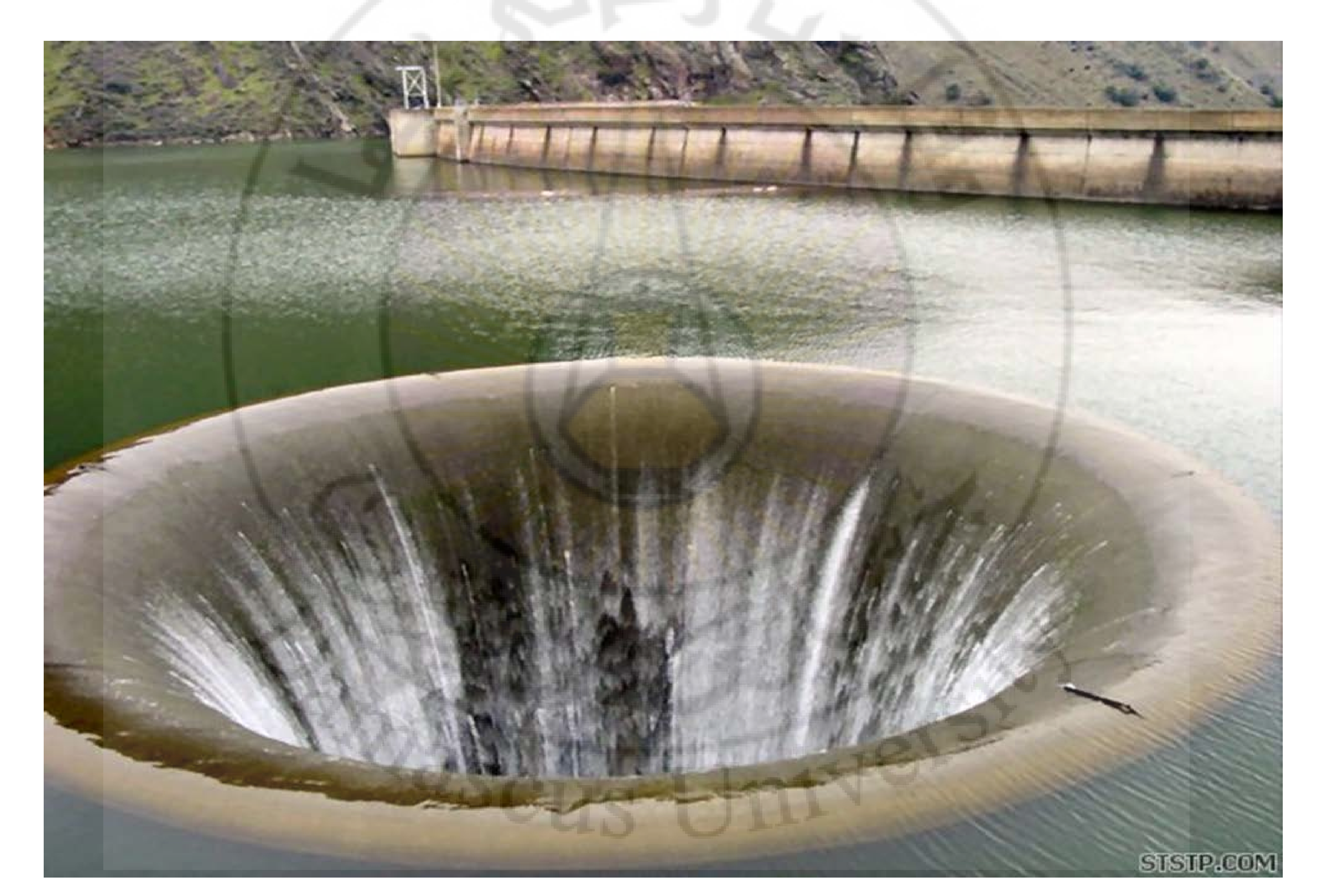
Non-overflow block

Overflow block

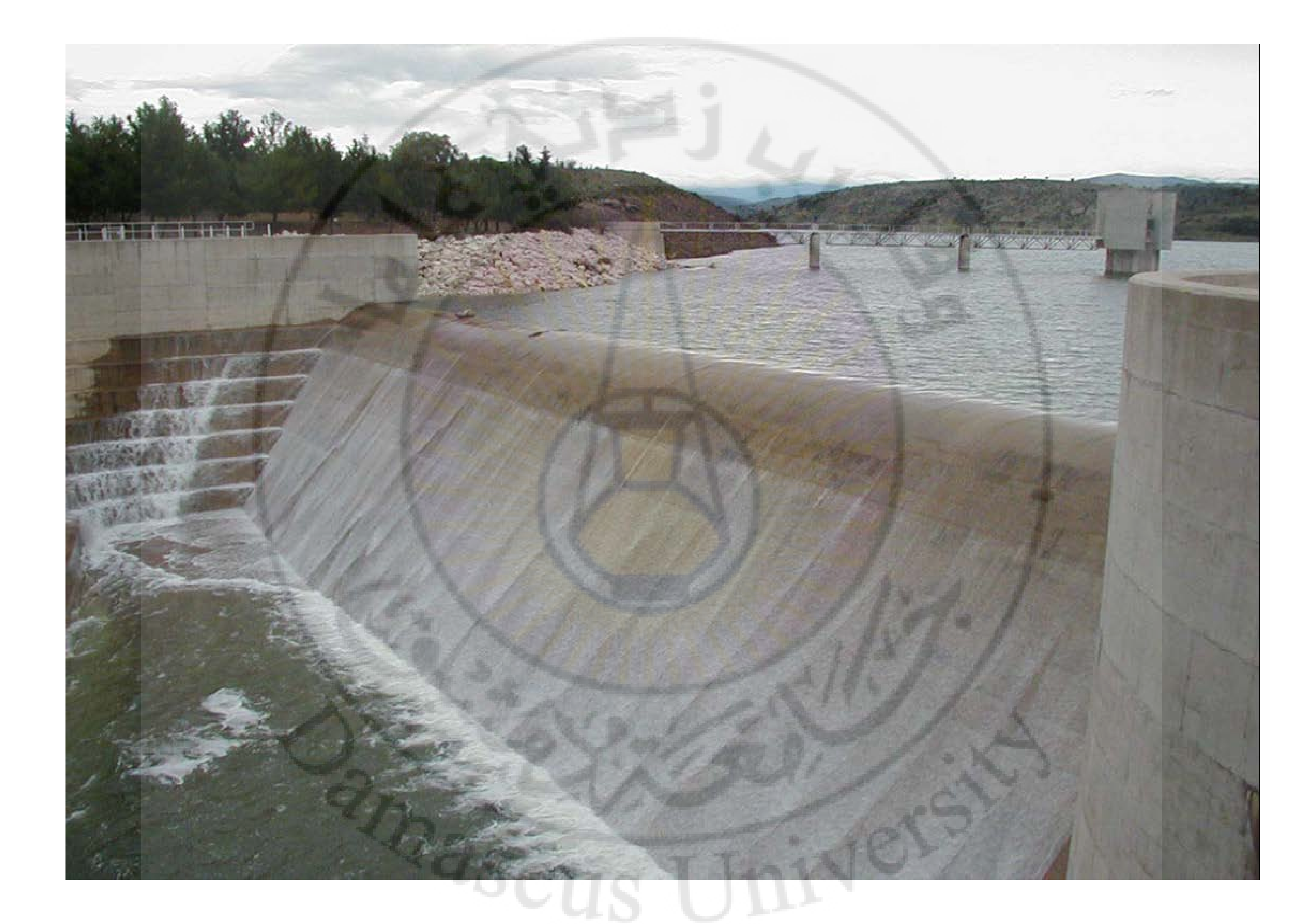
حجم وموقع المفيض
Spillway types and location



حجم وموقع المفيض







حجم وموقع المفيض

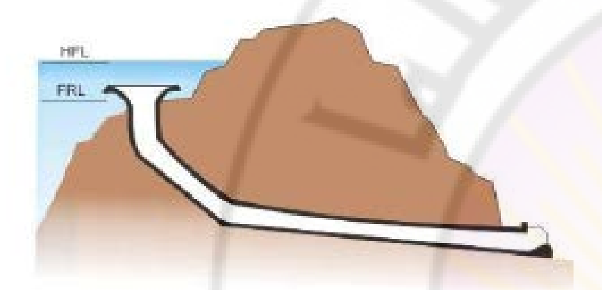


Figure 15. Tunnel spillway with a morning glory entrance.

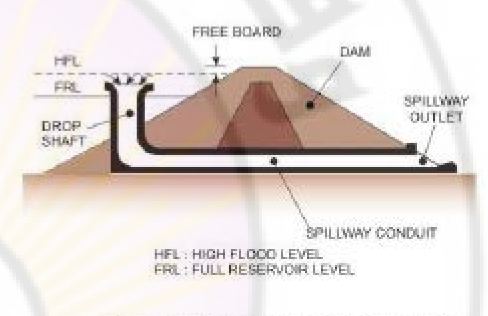


FIGURE 13. Section through a shaft spillway

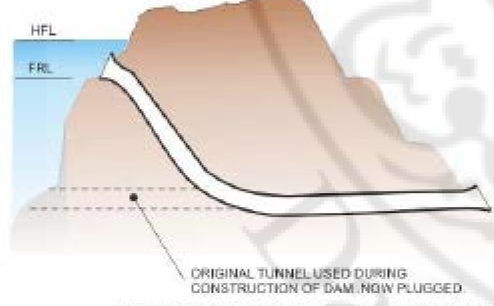


FIGURE 16. Bell mouth entry to a tunnel spillway (Gate control at entrance not shown)

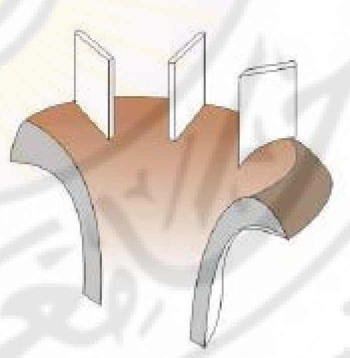


FIGURE 14. Morning glory spillway with anti-vortex piers

٥-الظروف البيئية ورأي السكان
5- Environment and public opinion-

- إن بناء السد يجب ألا يسبب بأي اضطرابات للبيئة المحيطة
- إذا تم تنفيذ سد في موقع معين من الممكن أن تغمر مساحات خضراء كبيرة في موقع البحيرة أو نتيجة استخدام الغضار في بناء النواة فان المنطقة تصبح غالبا غير صالحة للزراعة

٦- النشاط الزلزالي
6-Earthquake zone

- اذا تم اختيار الموقع للسد في منطقة نشطة زلزاليا فانه يتم اختيار نوع السد بحيث يكون قادر على مقاومة الزلازل دون أضرار،
- على الرغم من تضمين إجراءات خلال التصميم لأجل الأحمال الإضافية الناتجة عن الزلازل فان أي نوع من السدود يمكن اختياره لكن السدود الترابية والخرسانية الثقلية هي النوع الأمثل .

٧- الكلفة
7-Cost

- الكلفة الكلية لتنفيذ للسد وكلفة الصيانة اللاحقة غالبا ما تصبح العامل المتحكم باختيار نوع السد

- تتأثر الكلفة بتوفر وسعر مواد التنفيذ واليد العاملة، بينما كلفة الصيانة اللاحقة تعتمد بشكل أساسي على طبيعة مواد الإنشاء.
- لذلك إذا كان الاختيار بين سد ثقلي ودعامي فان حجم البيتون للسد الدعامي اقل بكثير من الثقلي وهنا يجب إدخال تسليح السد الدعامي بحساب الكلفة النهائية
- بشكل مشابه فان الكلفة الأولية لمواد التنفيذ بالسدود الترابية ربما اقل لكن الصيانة اللاحقة ربما أكثر من السدود الثقلية لذلك فان هذا العامل يتطلب أخذه بالاعتبار في اختيار النهائي للسد

٨- اعتبارات عامة

8- General consideration

- إن اختيار نوع السد يعتمد أيضا على اعتبارات أخرى مختلفة مثل مسألة تحويل المياه أثناء التنفيذ، توفر المواد واليد العاملة والتجهيزات وإمكانية الوصول إلى الموقع ، محدودية منشأة المفرغ ، كلفة الحماية من تصريف المفيض.....الخ
- على أي حال عند أي موقع لسد إذا لم يكن تحويل الجريان أثناء التنفيذ ممكنا فان السد الترابي لا يمكن تنفيذه وليس اختيارا ممكنا وهنا الاختيار سيكون للسد الثقلي بسبب انه يمكن تصريف مياه الفيضان خلال سد بيتوني جزئي بدون أن يسبب كثيرا من الأضرار للسد.

التحريات الابتدائية والأولية لموقع السد
Preliminary and final investigations of the dam site

- تتضمن التحريات لتحديد الموقع الأكثر ملائمة لموقع السد :الخرائط الطبوغرافية ،الدراسة الجيولوجية ،التحريات تحت الأرضية والدراسات الهيدرولوجية.

وهذه التحريات تقسم بشكل عام إلى :

- ١- تحريات أولية
- ٢- تحريات ابتدائية
- ٣- تحريات نهائية

١ـ التحريات الأولية
1-Reconnaissance

- لأجل الدراسات الأولية فان الخرائط الطبوغرافية والخرائط الجيولوجية الإقليمية مفيدة و تشمل الدراسات الأولية:
- ١-زيارة كل المواقع الممكنة وجمع المعلومات للتصميم،
- ٢-بيانات جيولوجية بدون تحريات أو سبور تحت سطحية
- ٣-حجم تخزين تقريبي وبيانات تصريف تقريبية
- ٤-المكان الممكن للمفيض
- ٥-التغيرات الممكنة في المنطقة بعد بناء السد وتشكل البحيرة

٢-التحريات الابتدائية

2-Preliminary investigation

- في التحريات الابتدائية نحتاج الى بيانات جدية تفصيلية أكثر دقة يتم تجميعها لأجل المواقع العديدة المختارة خلال المرحلة الأولية للتحريات لتحديد الموقع الأكثر ملائمة واقتصادية بين هذه المواقع و هذا يتطلب ما يلي:
- ١-بعض التحريات للمواد فوق طبقة التأسيس
- ٢-سبور قليلة لنقل بين ٦ و ٥٠ حسب حجم السد
- ٣-تحريات جيولوجية ابتدائية وكتابة تقرير عن هذه التحريات\
- ٤- تحريات حول مواد الإنشاء (تربة، صخر ، بحص،حصويات للبيتون ...)

2-Preliminary investigation

- ٥-تحديد الخدمات العامة التي ربما تتأثر بإنشاء السد(طرق، سكك، خطوط هاتف،خطوط جر مياه ، محطات طاقة ...)
- ٦-دراسات هيدرولوجية
- ٧-تحديد الطمي الذي يمكن أن يحمل بواسطة التيار
- ٨-لتحديد حجم المفيض يمكن ملاحظة العلامات الموافقة للتصاريف النادرة

2-Preliminary investigation

- بعد إجراء التحريات الابتدائية على عدة مواقع ممكنة للسد وبعد الدراسات المكتبية لكل موقع يمكن اختيار احد المواقع للتحريات النهائية

٣- التحريات النهائية
3-Final investigation

- **تشمل التحريات النهائية:**
- ١-التحليل الكامل للموقع المختار وتحضير الخرائط الطبوغرافية لاستخدامها في كل مراحل وخطوات التصميم والتنفيذ
- ٢-انجاز السبور الضرورية ، حفر الاختبار،الاستكشاف للطبقات تحت الأرضية، الدراسات الجيولوجية واختبارات المواد في مناطق الاستعارة ومنطقة الأساسات
- ٣-تحديد نوع السد المختار
- ٤- وضع مخطط معالجة أساسات السد على أساس التحريات الجيوتكنيكية تحت الأرضية

3-Final investigation

٥-تحديد مساحة الأرض المستخدمة لمواقع المنشآت والإغراض الأخرى

٦-تحديد امتداد الأراضي والبلدات والمناطق التي ستغمر بالبحيرة والترتيبات اللازمة لإعادة تأهيل المنطقة

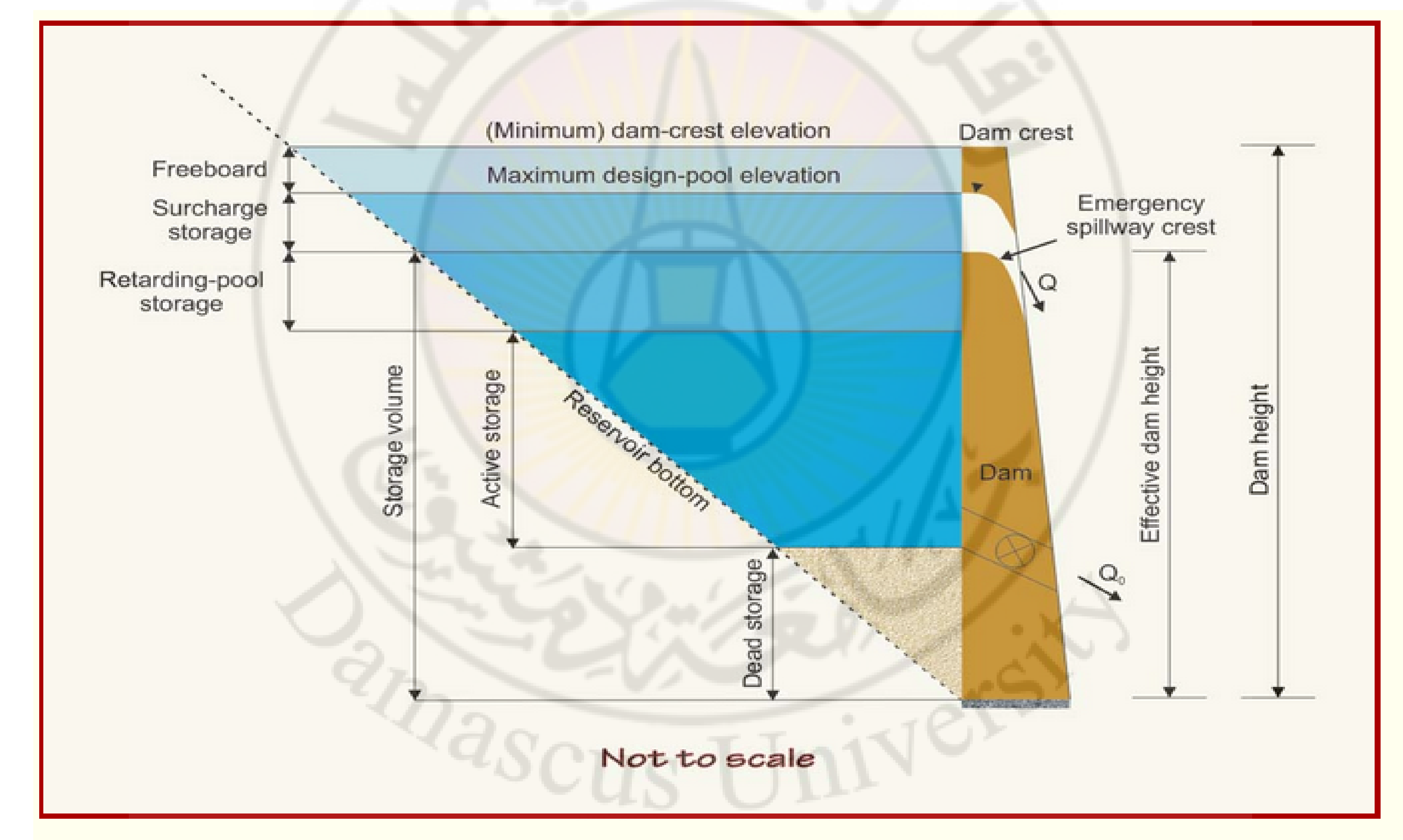
٧-تحديد امتداد منشآت الخدمات العامة من طرق وسكك وتحديد المسارات البديلة لها

٨- الحصول على معلومات كافية للتقدير الدقيق للكلفة

3-Final investigation

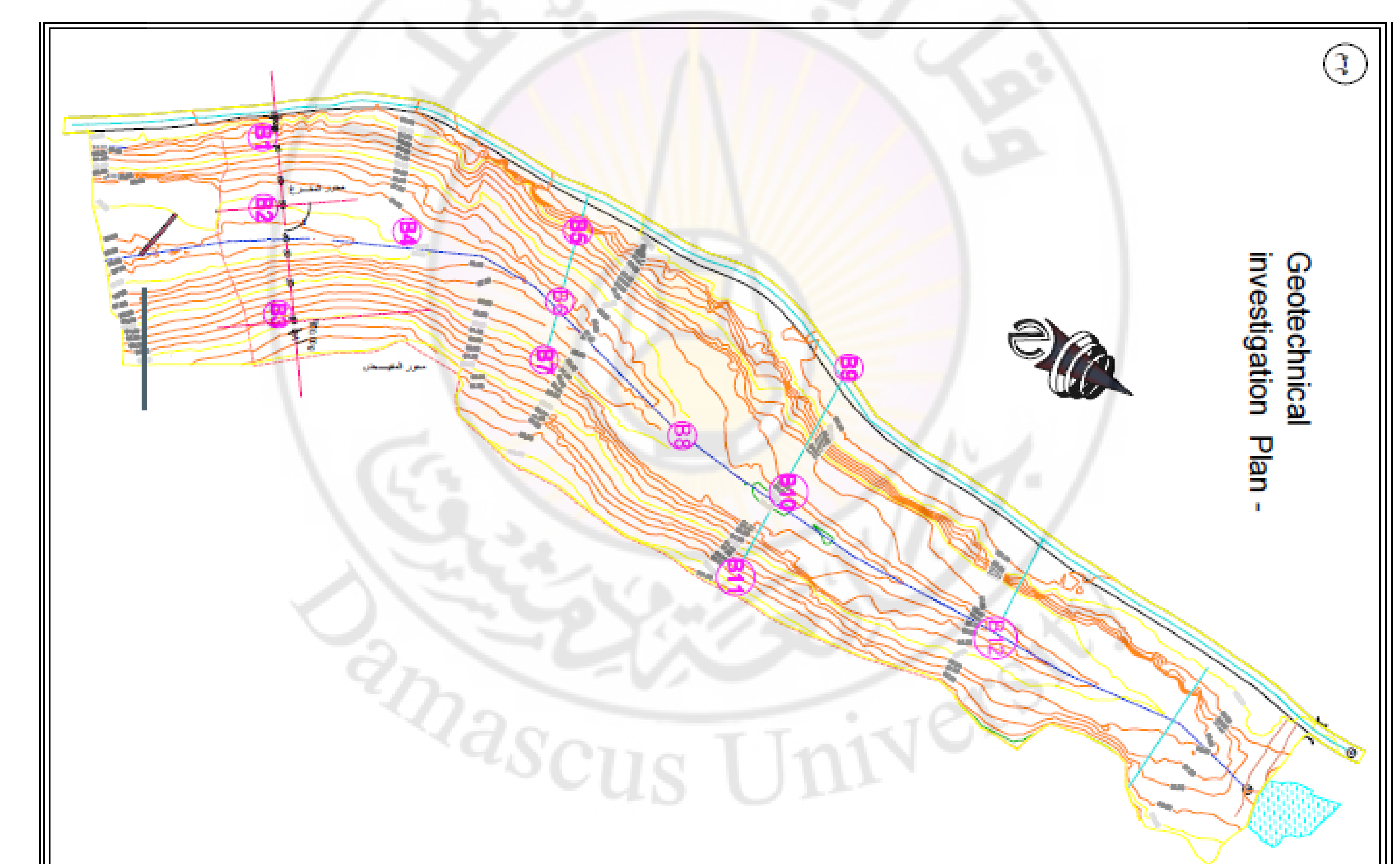
- تحديد الموقع النهائي ، آليات التنفيذ ،مستعمرات سكن العمال والمهنيين، موقع السد المؤقت ومصدر مواد الانشاء
- الحصول على المعلومات الضرورية المؤثرة في التصميم
- ملاحظة:
- لا توجد خطوط فاصلة واضحة بين اختبارات وتحريات مرحلة التصميم النهائي والابتدائي وغالبا متداخلة
- Note: There is no distinct line of demarcation between the preliminary and final investigations of dam site and often one blend into other

حجوم التخزين المختلفة لبحيرة سد
Reservoir storage Volumes

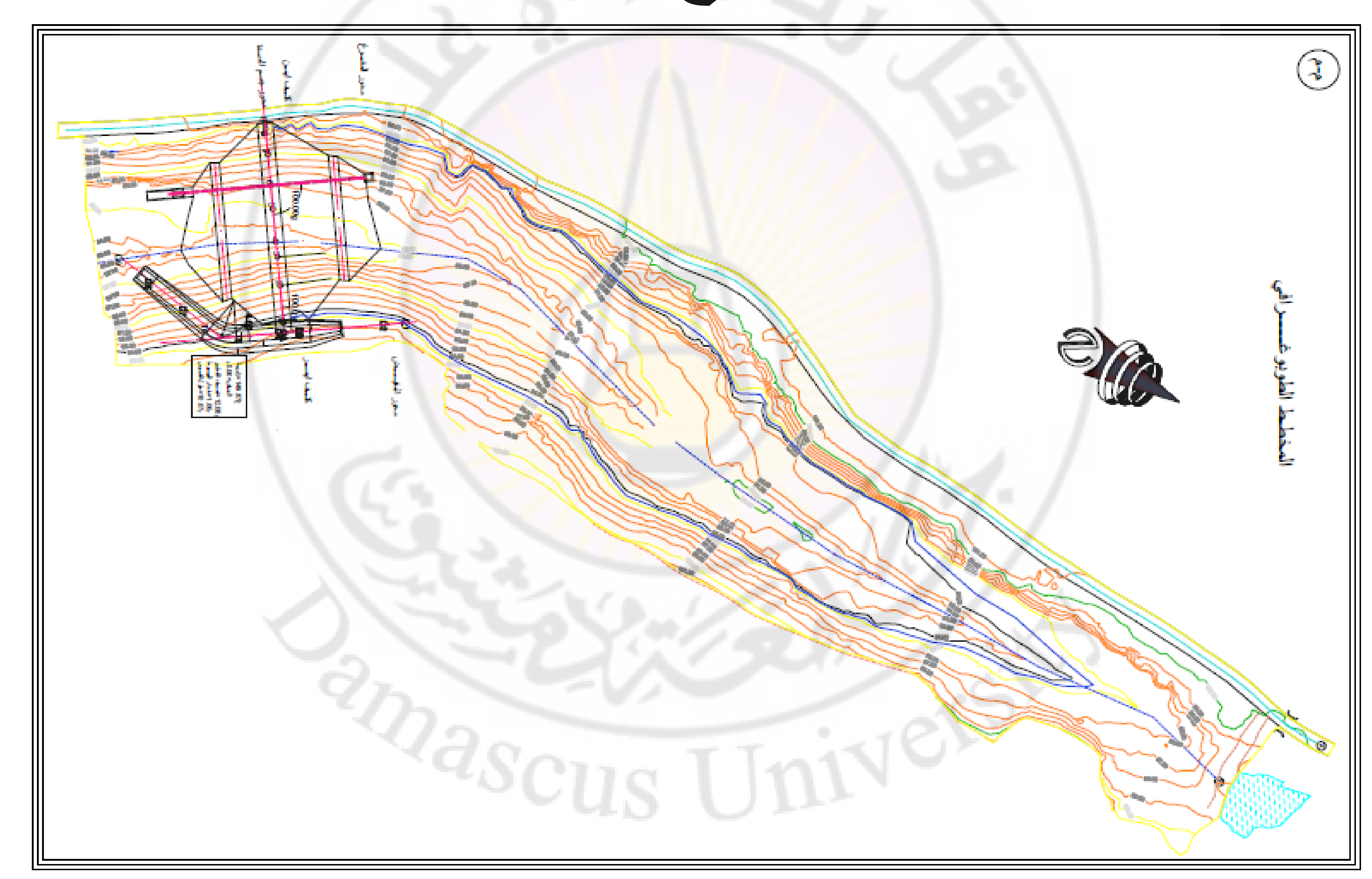


Definition sketch of reservoir storage volumes.

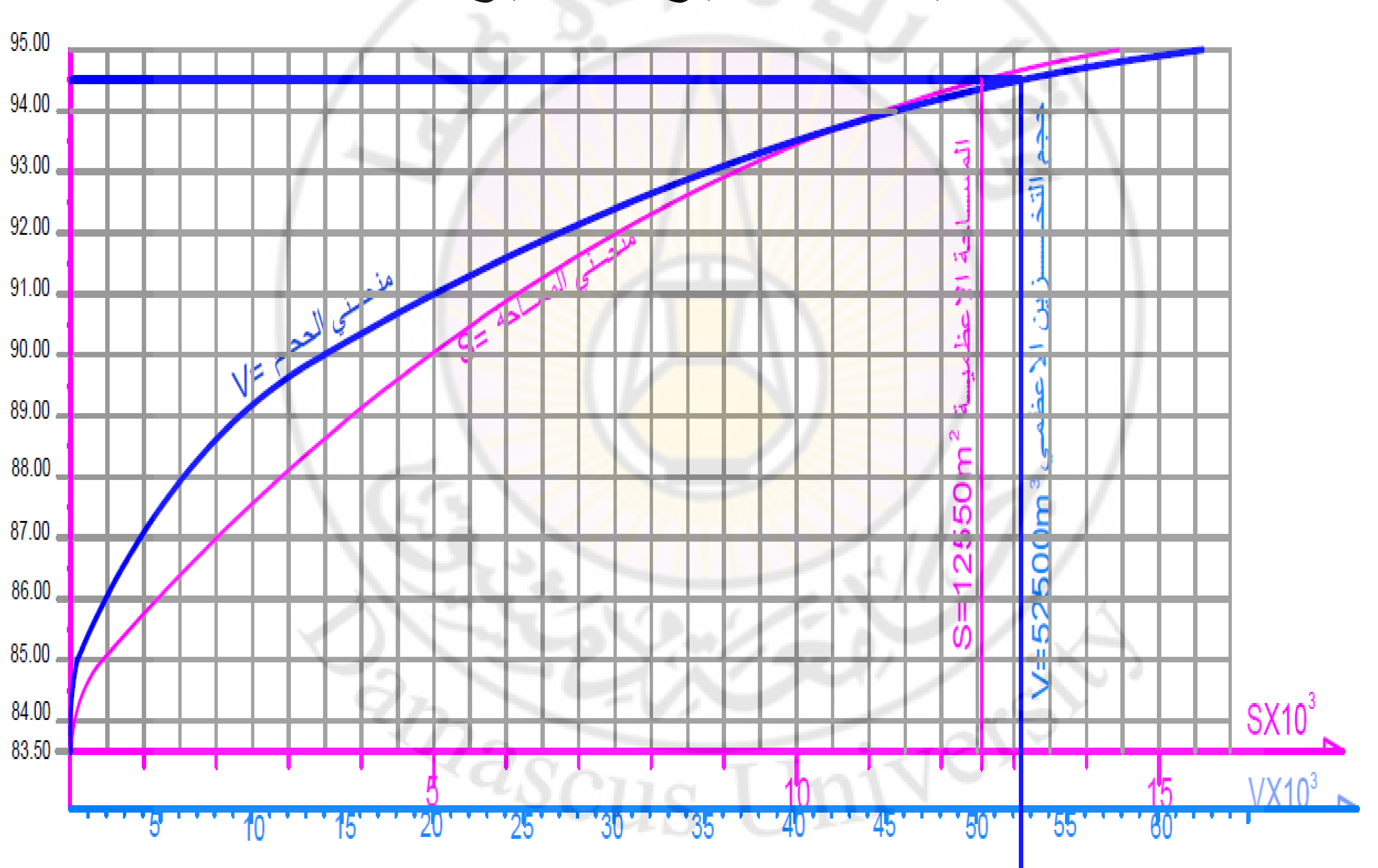
مواقع أجراء السبور في احد السدود-مرحلة نهائية



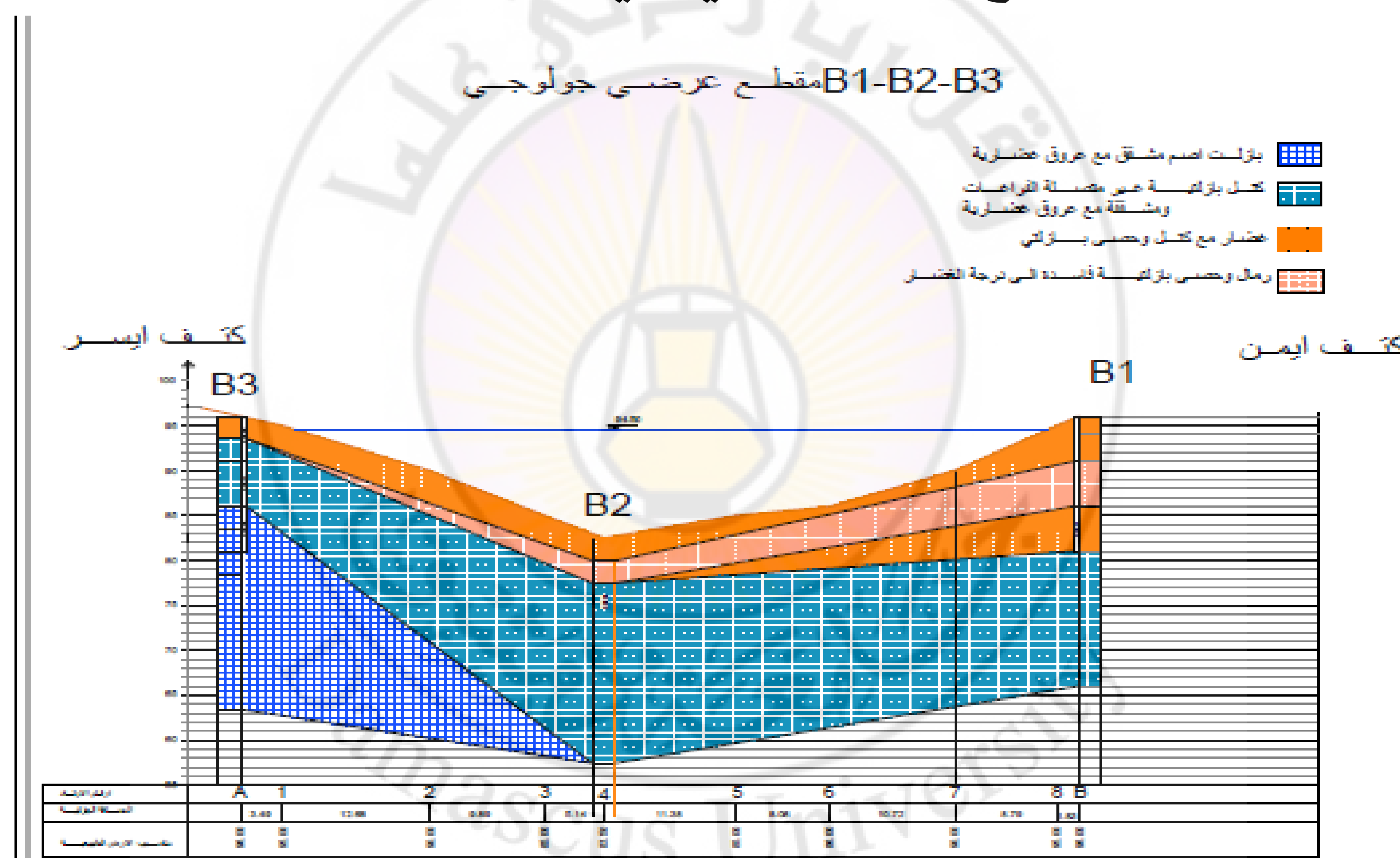
مخطط البحيرة موقع عليها السد والمفيض



المنحنيات المميزة لبحيرة السد



مثال : المقطع الجيولوجي في المحور B1-B2-B3

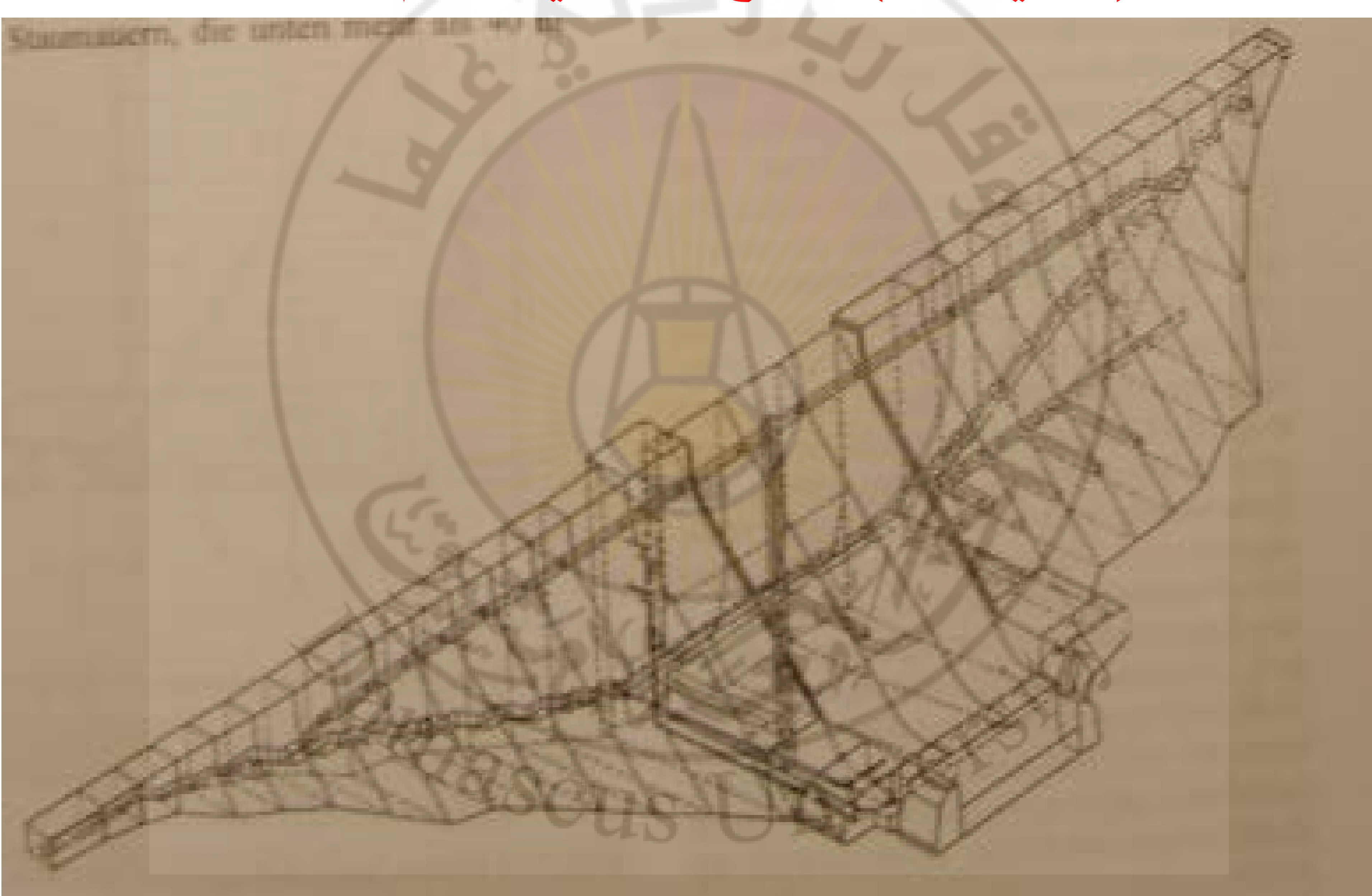


Dam Engineering-Gravity Dams

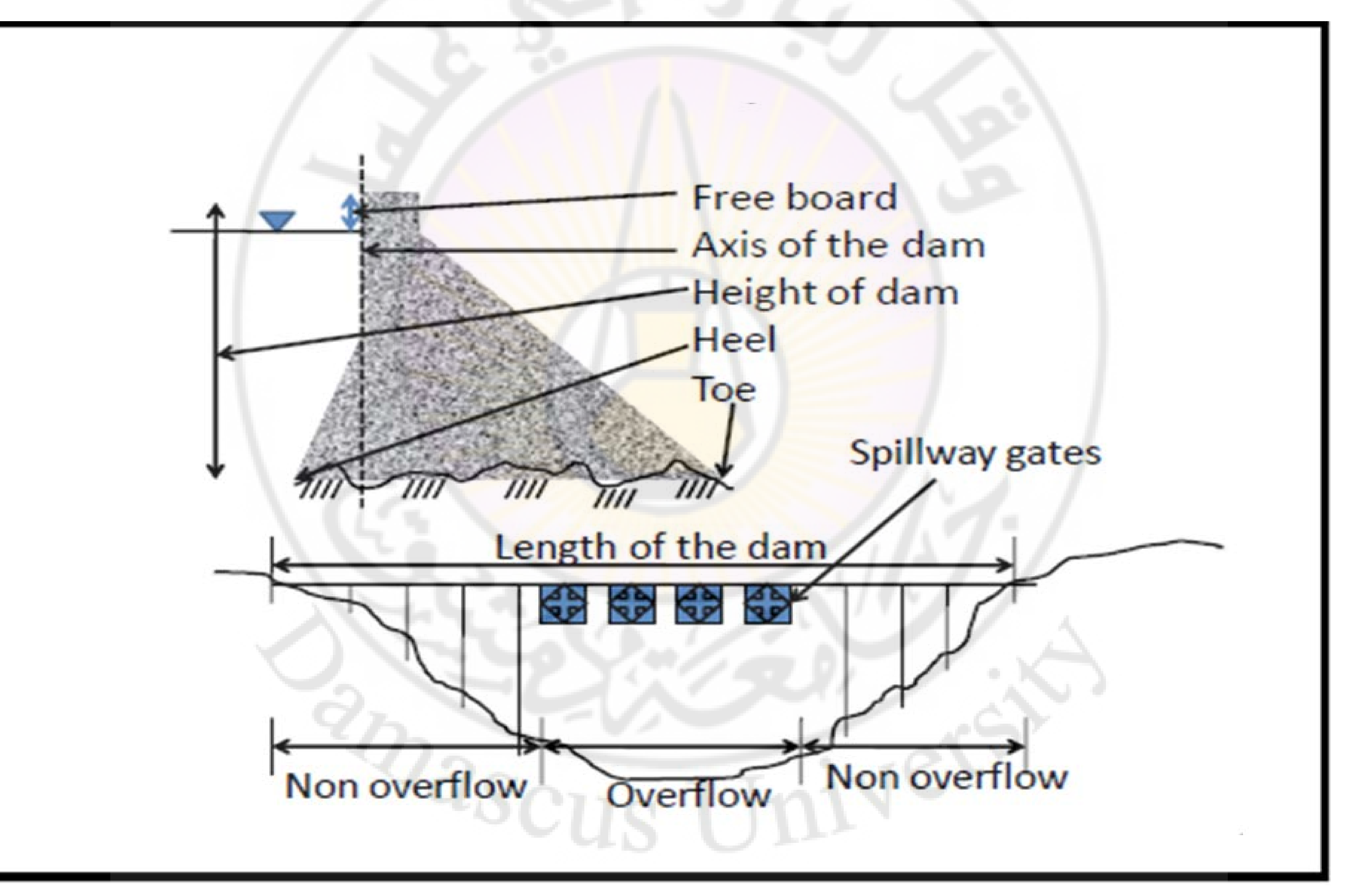
هندسة السدود- السدود الثقلية

السنة الخامسة- الهندسة المدنية

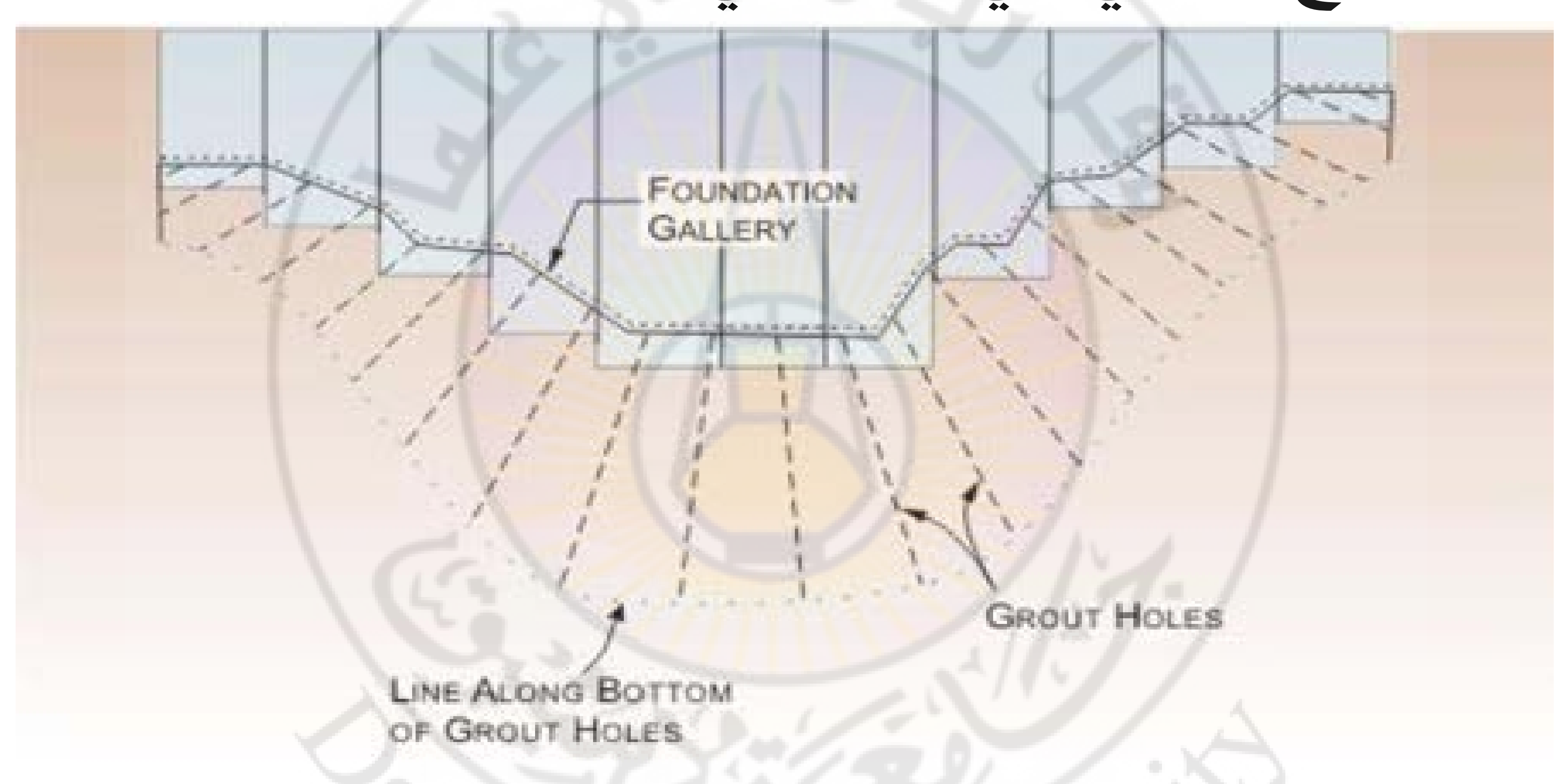
شكل (ثلاثي أبعاد)يوضح سد ثقلي مقسم إلى بلوكات



مقطع طولي وعرضي في سد ثقلي



مقطع طولي في سد ثقلي عمق ستارة الحقن



. Series of grout holes forming a grout curtain shown in elevation of a concrete gravity dam

مقدمة

- يستمد السد الثقلي استقراره من وزن المواد داخل مقطعه ،
- إن وزن المواد المشكلة للسد وطريقة وتوزعها في المقطع تصمم بحيث تقاوم القوى الناتجة عن ضغط المياه المحجوز في البحيرة والقوى الأخرى الناتجة عنه (الزلازل)
- نعرف **محور السد** بالخط المار من الوجه الشاقولي للسد
- أما **ارتفاع السد** فهو المسافة الشاقولية من أعمق نقطة بالأساس إلى قمة السد (الطريق)
- غالبا يشغل المفيض جزء من جسم السد

معايير اختيار موقع السد الثقلي

يجب ان يحقق موقع السد الثقلى المعايير التالية:

- ✓ مقطع متضيق للوادي عند موقع السد
- ✓ صخر صلد قاسي قادر على مقاومة الأحمال الساكنة والديناميكية بما فيها القوى الناتجة عن الزلازل
- ✓ أكتاف وميول الوادي مستقرة
- ✓ للأساسات نفس قيم معامل المرونة
- ✓ أساسات السد وجوانب البحيرة أو الخزان يجب ان تكون كتيمة ومقاومة للحت وأي آثار ضارة ناتجة عن تناوب الترطيب والجفاف كما التجمد والذوبان
- ✓ موقع مناسب للمفيض
- ✓ توفر مواد البناء الجيدة لجسم السد وكذلك توفر البنية التحتية كالكهرباء والطرق ......الخ

القوى المؤثرة على سد ثقلي

يخضع السد الثقلي للقوى التالية:

١-قوى تساعد على التثبيت أو مثبتة وهي:

- ✓ الوزن الذاتي

قوى الضغط المائي عند القدم الخلفي للسد (أفقية وشاقولية)

٢-قوى غير مثبتة وهي:

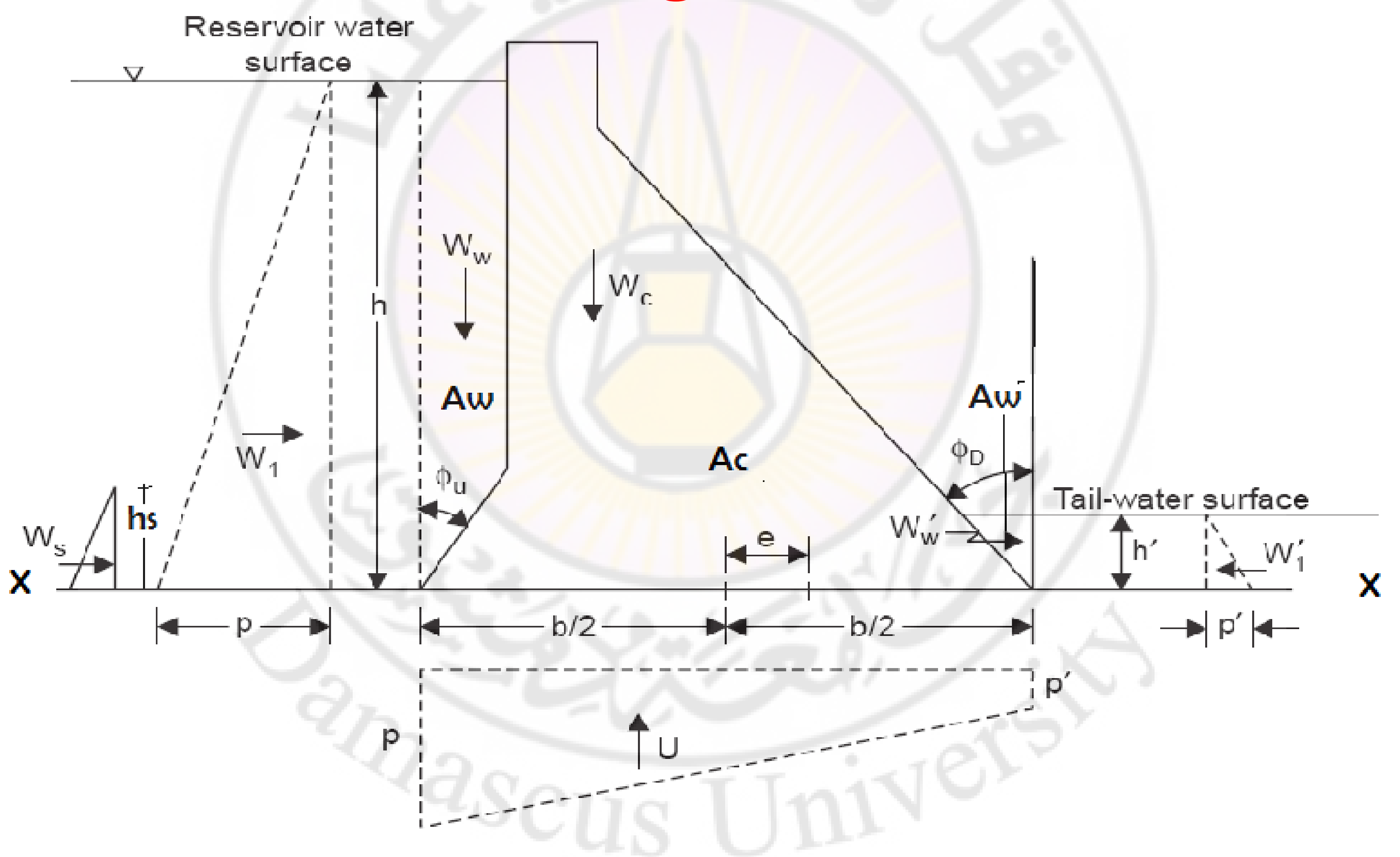
- ✓ قوى الضغط المائي من جهة الخزان (أفقية وشاقولية)
- ✓ قوى الرفع المائي
- ✓ ضغط الأمواج
- ✓ ضغط الجليد
- ✓ تأثير التغيرات الحرارية والاجهادات الناتجة عنها
- ✓ ضغط التربة والطمي
- ✓ القوى الزلزالية
- ✓ قوى الرياح

كما يمكن تصنيف القوى المؤثرة على السد الى :

- ✓ **قوى ذات توافق عادي**
- ✓ **قوى ذات توافق استثنائي**

القوى ذات التوافق العادي

Usual loading combination



Usual loading combination for a gravity dam

حساب القوى- وزن ذاتي

- -**الوزن الذاتي** أو الحمل الميت ويشمل وزن الخرسانة المكونة لجسم السد ووزن التجهيزات الأخرى كالبوابات والجسر والركائز وتنتقل جميع هذه الأحمال إلى الأساسات بشكل شاقولي بدون الانتقال عن ريق القص بين البلوكات المتجاورة ويمكن تقسيم مقطع السد إلى أجزاء وحساب وزن كل جزء وتكون قوة الوزن مارة من مركز ثقل الجزء المدروس

حساب القوى- احمال المياه والسيلت أو الطمي

- **أحمال المياه** وهي الأحمال المنقولة من الخزان أمام السد ومن المياه خلف السدوتشمل أحمالا أفقية وشاقولية مثل W_1, W_w, W'_w, W'_1
- **أحمال السيلت** وتسبب قوى ضغط أفقي ولهذه الحالة تؤخذ الكتلة الحجمية للسيلت $1360\ kg/m^3$ وتسبب أيضا ضغط شاقولي (وزن السيلت فوق الأجزاء المائلة أمام السد من جهة البحيرة) وتؤخذ الكتلة الحجمية للسيلت $1925\ kg/m^3$

حساب القوى- احمال المياه و السيلت أو الطمي

تحسب قوة الدفع أو الضغط الأفقي التي تؤثر على سد ثقلي بالعلاقة التالية:

$$W_s = K_a \cdot \gamma_s \cdot h_s^2/2$$

$$K_a \approx \frac{1-\sin\phi_s}{1+\sin\phi_s} \qquad \Phi_s = 30°.$$

حيث:

$\gamma_s = \rho_s \cdot g$: الوزن ألحجمي للطمي أو السيلت

h_s: ارتفاع السيلت

Φ_s: زاوية الاحتكاك الداخلي للسيلت

تؤثر قوة الدفع الأفقي على مسافة h_s من المستوي X-X

حساب قوى الرفع المائي

Uplift pressure

تؤثر على اسفل السد الثقلي قوى رفع مائي قيمنها عند القدم الامامي تساوي كامل الضغط في خزان السد وعند القدم الخلفي قيمة ضغط المياه خلف السدأو فرق الضاغط يضيع بالكامل على طول قاعدة السد)

تحسب قوى الرفع المائي للحالتين التاليتين:

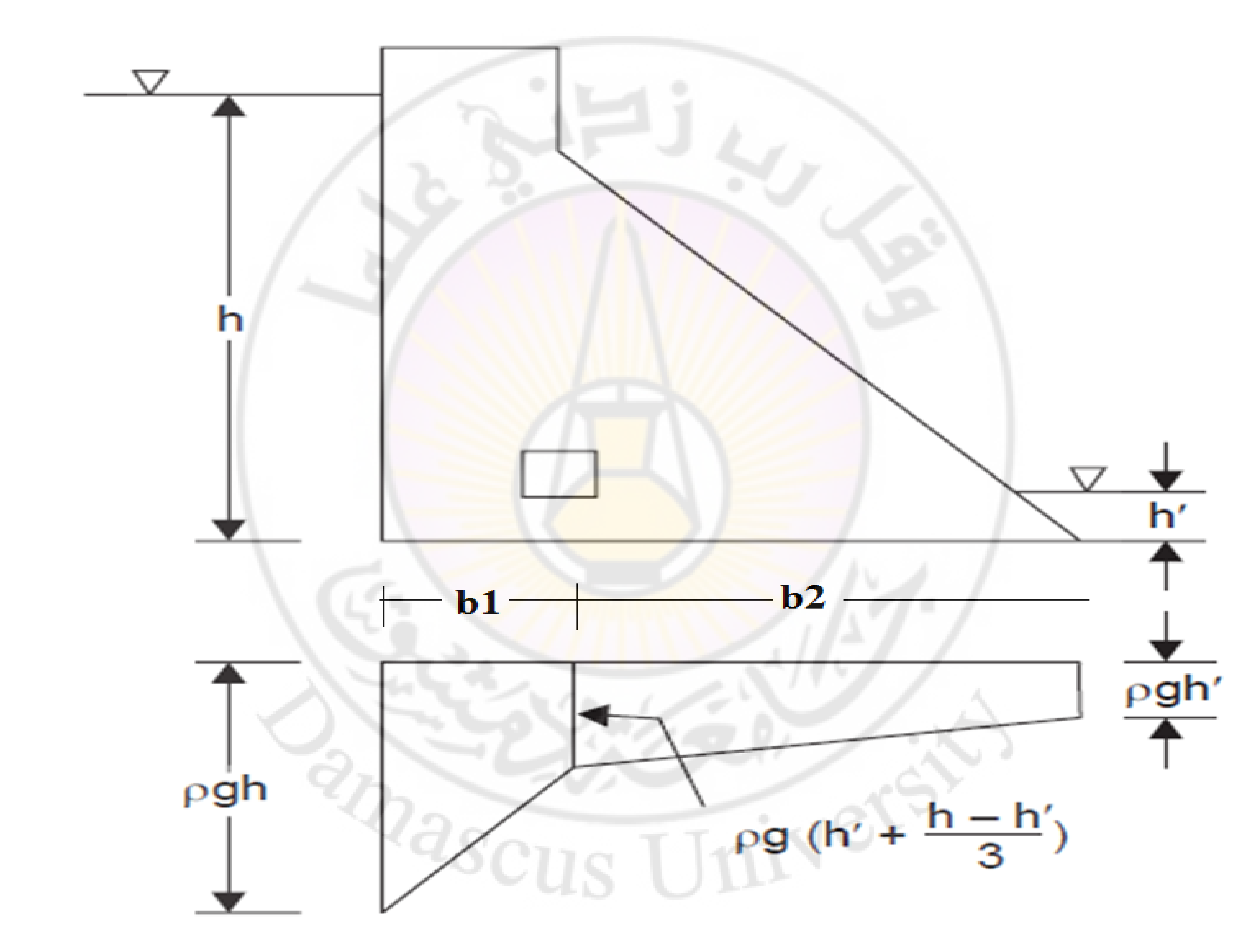
١- حالة مصرف معطل

$$U=\gamma_w.b.(h'+h)/2$$

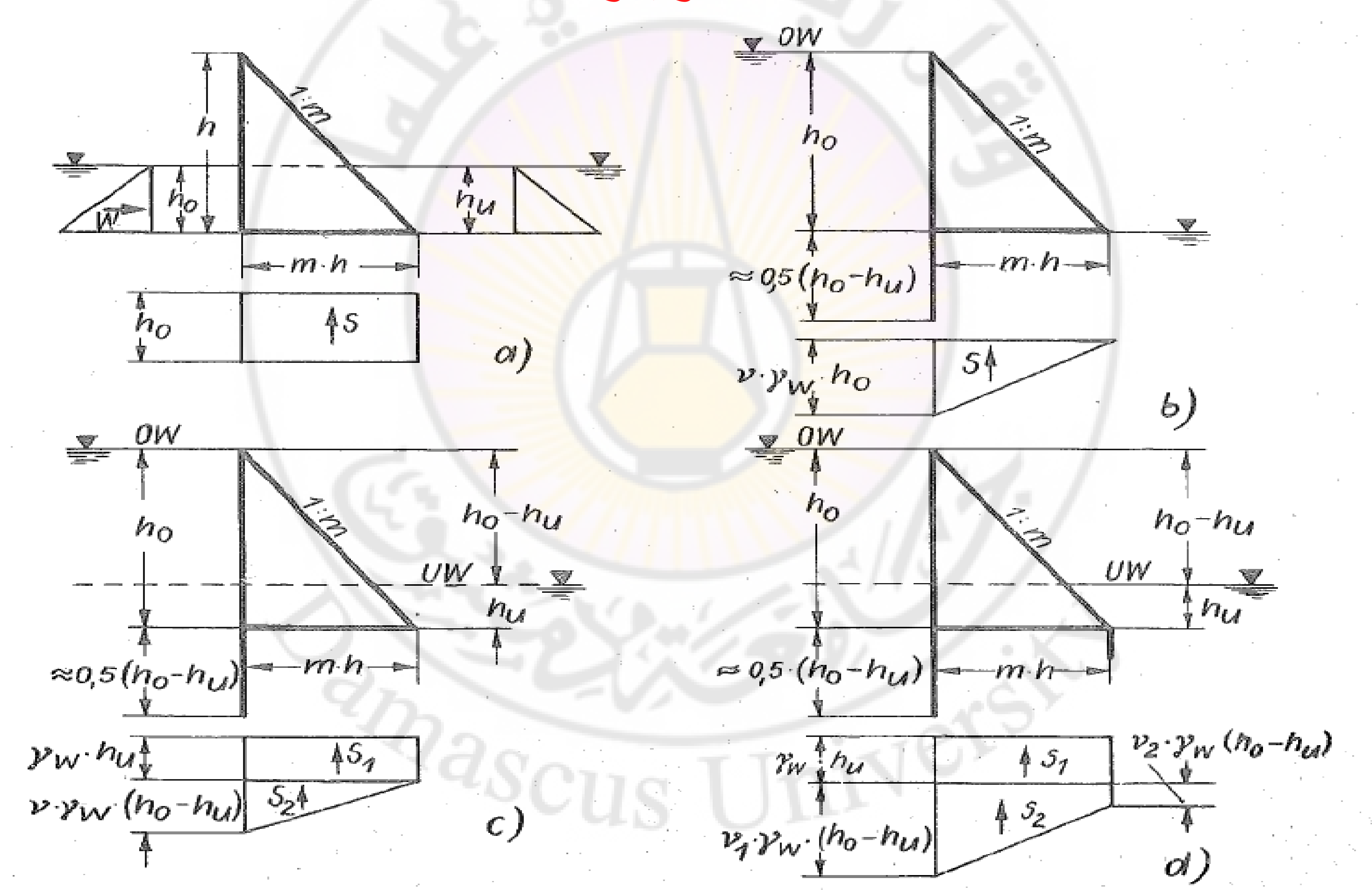
٢- حالة مصرف يعمل

تحسب قوة الرفع المائي استنادا إلى شكل مخطط الضغط على الشريحة التالية

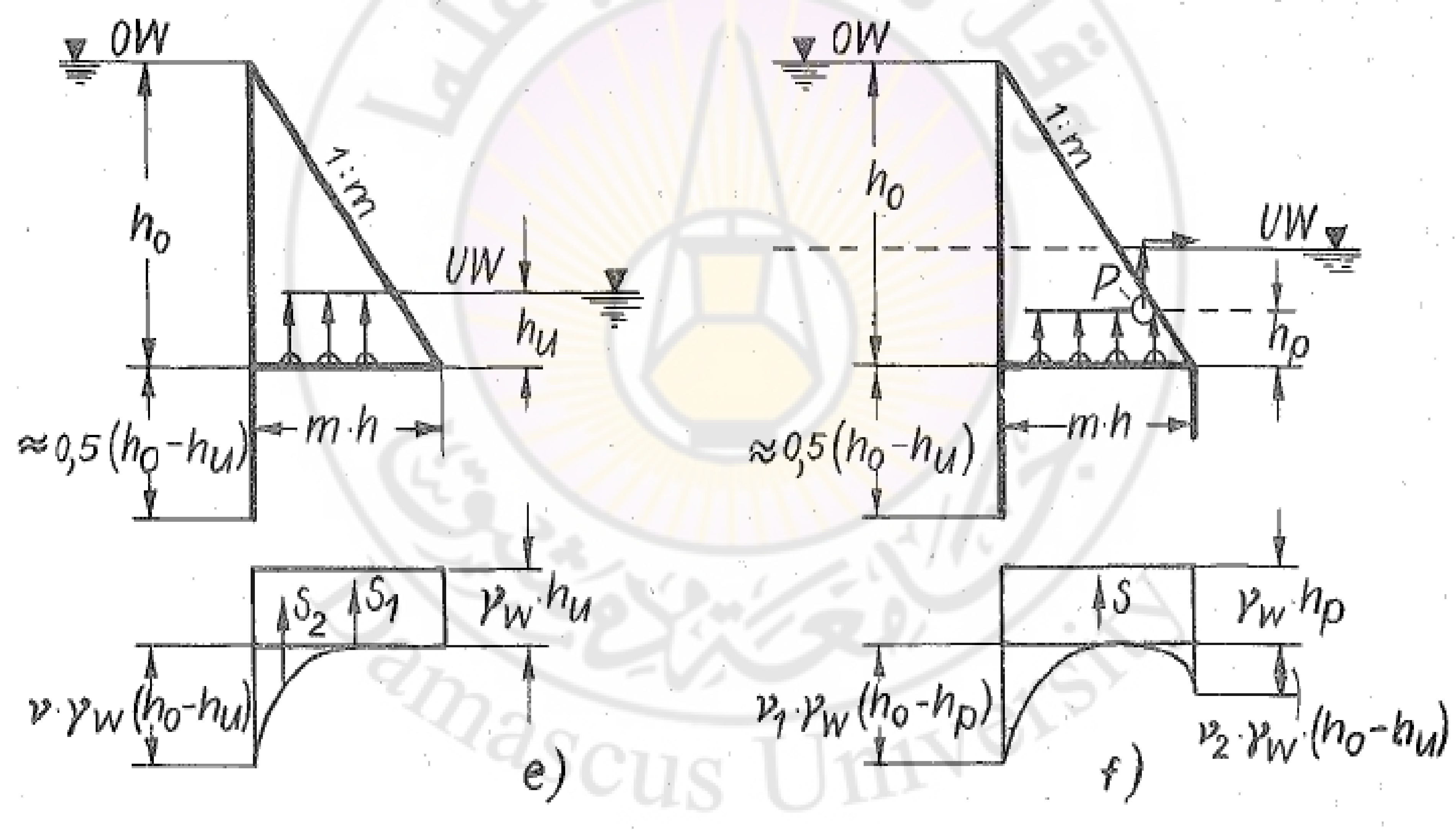
ملاحظة: يتم تحديد نقطة تطبيق القوة حسب شكل مخطط الضغط


h
h′
b1
b2
ρgh′
ρgh
ρg (h′ + (h − h′)/3)

حالات تغير قوى الرفع المائي بوجود ستارة أو بدونه- وجود ماء خلف السد أو بدونه



حالات تغير قوى الرفع المائي بوجود ستارة أو أكثر ووجود مصارف



حساب ضغط الأمواج
Wave Pressure

الجزء العلوي للسد يتعرض لتأثير الأمواج وهو ذي أهمية بسيطة خاصة للسدود الكبيرة

يتعلق ضغط الأمواج بارتفاع الموجة h_w كما يلي :

a - ضغط الأمواج الأعظمي P_w ب Kpa يؤثر على ارتفاع $0.125\ h_w$ فوق منسوب الماء الساكن ويعطى بالعلاقة

$$p_w = 24\ h_w \quad \text{in} \quad \text{kpa}$$

hw- ارتفاع الموجة بالمتر

b- تعطى قيمة قوة الموجة P_w ب KN بالعلاقة:

$$P_w = 20\ .h^2_w$$

وتؤثر هذه القوة عند $0.375\ h_w$ فوق منسوب الماء السكن باتجاه الأسفل (downstream)

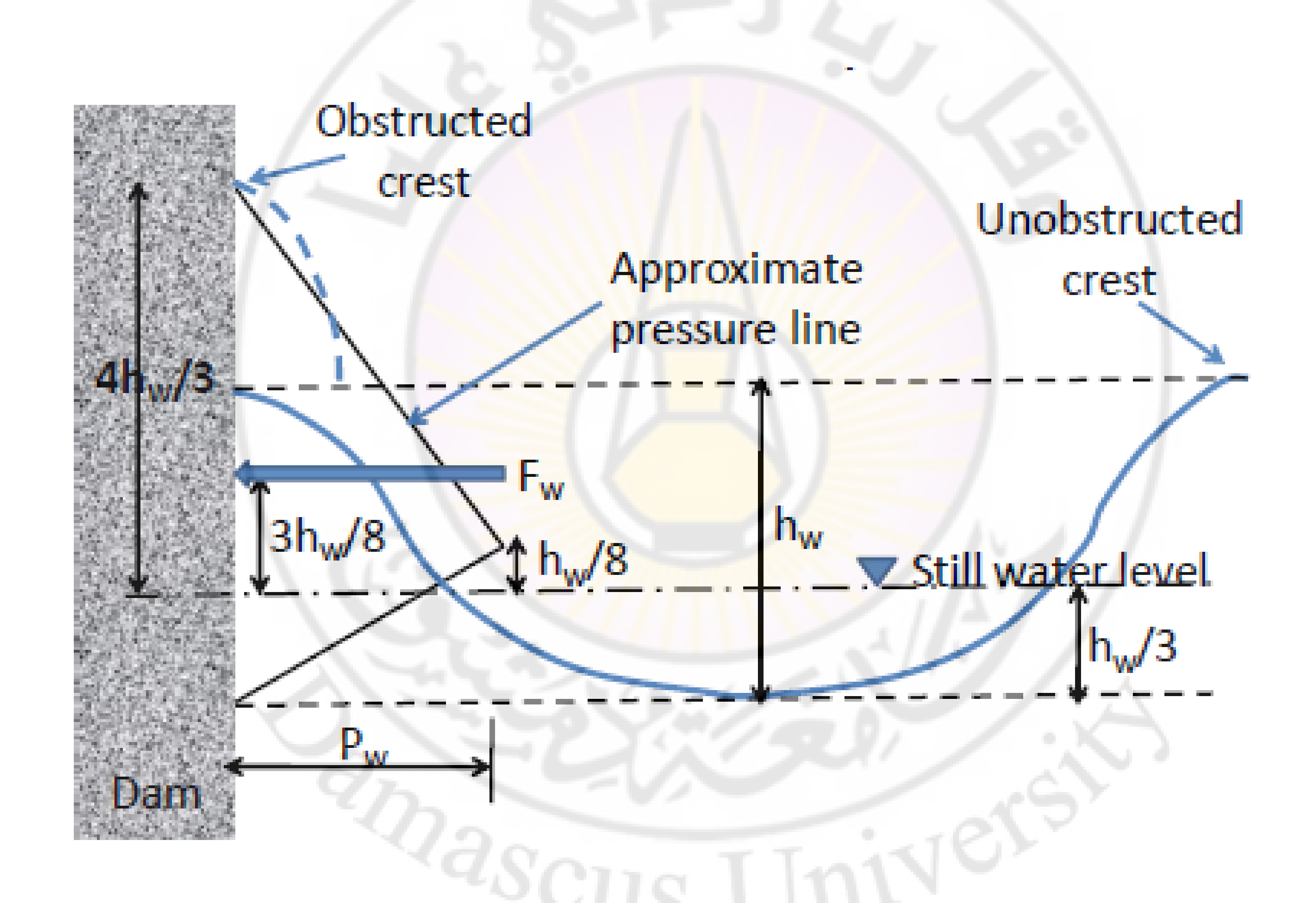
حساب ضغط الأمواج
Wave Pressure

- C- يحسب ارتفاع الموجة بالعلاقات التالية:

$$h_w = 0.032\sqrt{VF} + 0.76 - 0.27F^{1/4} \text{ for } F < 32 \text{ km}$$

$$h_w = 0.032\sqrt{VF} \text{ for } F > 32 \text{ km}$$

- V : السرعة بالكيلومتر بالساعة
- F:طول التماس بين الرياح وسطح الماء – بالكيلومتر (fetch)



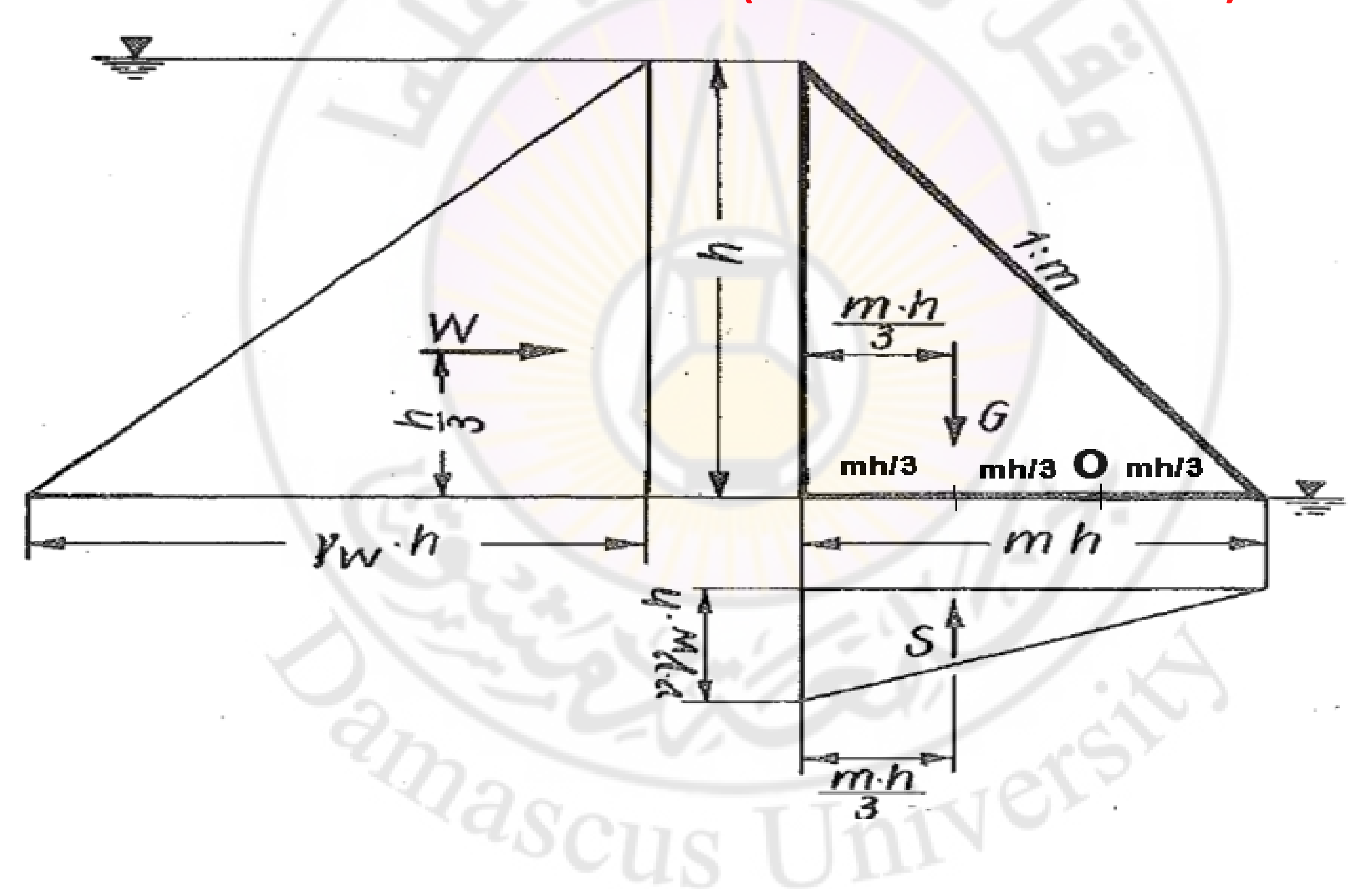
Obstructed
crest
Unobstructed
crest
Approximate
pressure line
4hw/3
Fw
3hw/8
hw/8
hw
Still water level
hw/3
Pw
Dam

حساب ضغط الجليد
Ice Pressure

- اذا توقع المصمم تشكل صفائح جليد بسماكات ملحوظة وتدوم لفترة طويلة على سطح ماء الخزان عندها يجب أخذ هذه القوة بالاعتبار وتحسب استنادا الى طرق مناسبة في التقدير:وفي حال غياب هذه الطرق يؤخذ ضغط الجليد 250 kpa(250 Kn/m2) تطبق على المساحة المتوقعة للتماس بين الجليد ووجه السد الأمامي

-تحديد عرض قاعدة السد لحالة التحميل الموضحة

determination of base length for Distribution of some forces(as shown below)



Sum Mo=0

$$M_G - M_S - M_W = 0$$

$$\frac{1}{6} \cdot \gamma_B \cdot m^2 \cdot h^3 - \frac{1}{6} \nu \cdot \gamma_W \cdot m^2 \cdot h^3 - \frac{1}{6} \cdot \gamma_W \cdot h^3 = 0$$

$$m^2(\gamma_B - \nu \cdot \gamma_W) - \gamma_W = 0$$

$$m^2 = \frac{\gamma_W}{\gamma_B - \nu \cdot \gamma_W} = \frac{\gamma_W}{\gamma_B^*} = \frac{1,0}{\gamma_B^*}$$

$$\gamma_B^* = \gamma_B - \nu \cdot \gamma_W \qquad \gamma_W = 1,0$$

$$m = \sqrt{\frac{\gamma_W}{\gamma_B - \nu \cdot \gamma_W}} = \frac{1,0}{\sqrt{\gamma_B^*}}$$

$\gamma_B = 2,40$
$\nu = 0,40$

$$m = \frac{1}{\sqrt{2,4 - 0,4}} = 0,707$$

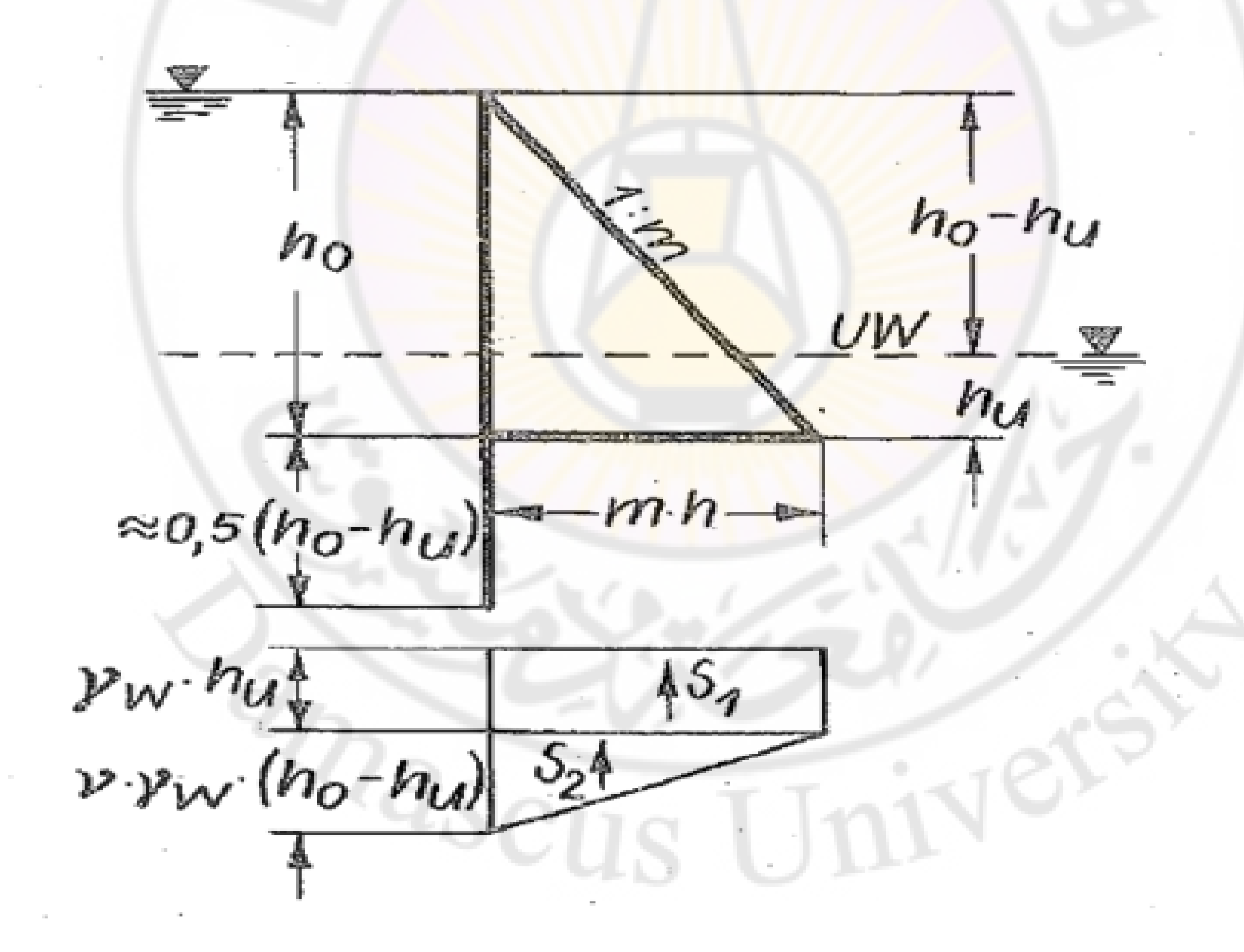
Bruchsteinmauer ohne Injektionsschürze

$\gamma_B = 2,30$
$\nu = 0,80$

$$m = \frac{1}{\sqrt{2,3 - 0,8}} = 0,816$$

وظيفة

- حدد عرض القاعدة للسد الثقلي ذي الشكل المثلثي الموضح تحت تأثيرالقوى الموضحة على الشكل s (ho=50 m , hu=10 m)



حساب القوى الزلزالية
Seismic Forces

- ✓ عند تصميم السدود الرئيسية الواقعة في مناطق نشاط زلزالي أو القريبة من الفوالق الجيولوجية يجب الأخذ بالاعتبار القوى الديناميكية الناشئة بسبب الزلازل أو الهزات الأرضية.
- ✓ تكون الفعالية الزلزالية مرتبطة باهتزازات أو ذبذبات معقدة بتسارعات مختلفة وحركات أرضية وهي التي تسبب أحمال ديناميكية ناشئة عن عطالة السد وقوة هيدروديناميكية من قبل الماء المخزون بالبحيرة
- ✓ يمكن أن يؤثر التسارع الزلزالي أفقيا أو شاقوليا وعادة فان التسارع الافقي أكبر من التسارع الشاقولي

القوة الزلزالية الناتجة عن كتلة السد

Inertia force due to mass of the dam

- ✓ لتقدير الحمل الزلزالي يجب معرفة التسارع الزلزالي أو الشدة الزلزالية وعادة ما ينسب التسارع الزلزالي الى تسارع الجاذبية الارضية g .تعرف النسبة بين التسارع الزلزالي وتسارع الجاذبية بالمعامل الزلزالي α , ونميز هنا تسارع أفقي αh وآخر شاقولي αv . وللمناطق المختلفة معاملات تسارع مختلفة تؤخذ من الكودات ،وفي غياب القياسات نأخذ المعامل الأفقي 0.1 والشاقولي 0.05 وعادة ما يكون معامل التسارع الأفقي أكبر من الشاقولي .التسارع الزلزالي التصميمي يجب ان يحدد من واقع القياسات التاريخية للمنطقة ولا يقل عن اي قيمة مسجلة.
- ✓ عند حدوث الزلزال فان قوة زلزالية ستنشأعن كتلة السد M تكون مركزة في مركز الثقل للكتلة تحسب القوة الأفقية الزلزالية Fh الناتجة عن كتلة السد من العلاقة:

$$Fh = \alpha h * g * M = \alpha h * W$$

كما تحسب القوة الشاقولية Fv الزلزالية الناتجة عن كتلة السد من العلاقة:

$$Fv = \alpha v * g * M = \alpha v * W$$

- حيث:
- W: وزن السد والاحمال عليه متضمنا الماء فوق الأجزاء المائلة
- α v معامل زلزالي شاقولي
- α h معامل زلزالي افقي

القوة الهيدروديناميكية الناتجة عن ماء البحيرة

Hydrodynamic force du e to retained water

- حسابات نظرية اشارت الى أن توزع الضغط الهيدروديناميكي الناتج عن تأثير الزلزال والذي يمارسه الماء المخزون على الوجه الأمامي(الخلفي) للسد هو على شكل قطع وتحسب قيمة الضغط الأفقي على وجه السد الأمامي عند أي عمق y بالعلاقة:

$$p_e = c_1 \, \alpha_h \, \rho \, g h$$

$$c_1 = \frac{c_m}{2}\left[\frac{y}{h}\left(2-\frac{y}{h}\right)+\sqrt{\frac{y}{h}\left(2-\frac{y}{h}\right)}\right]$$

حيث:

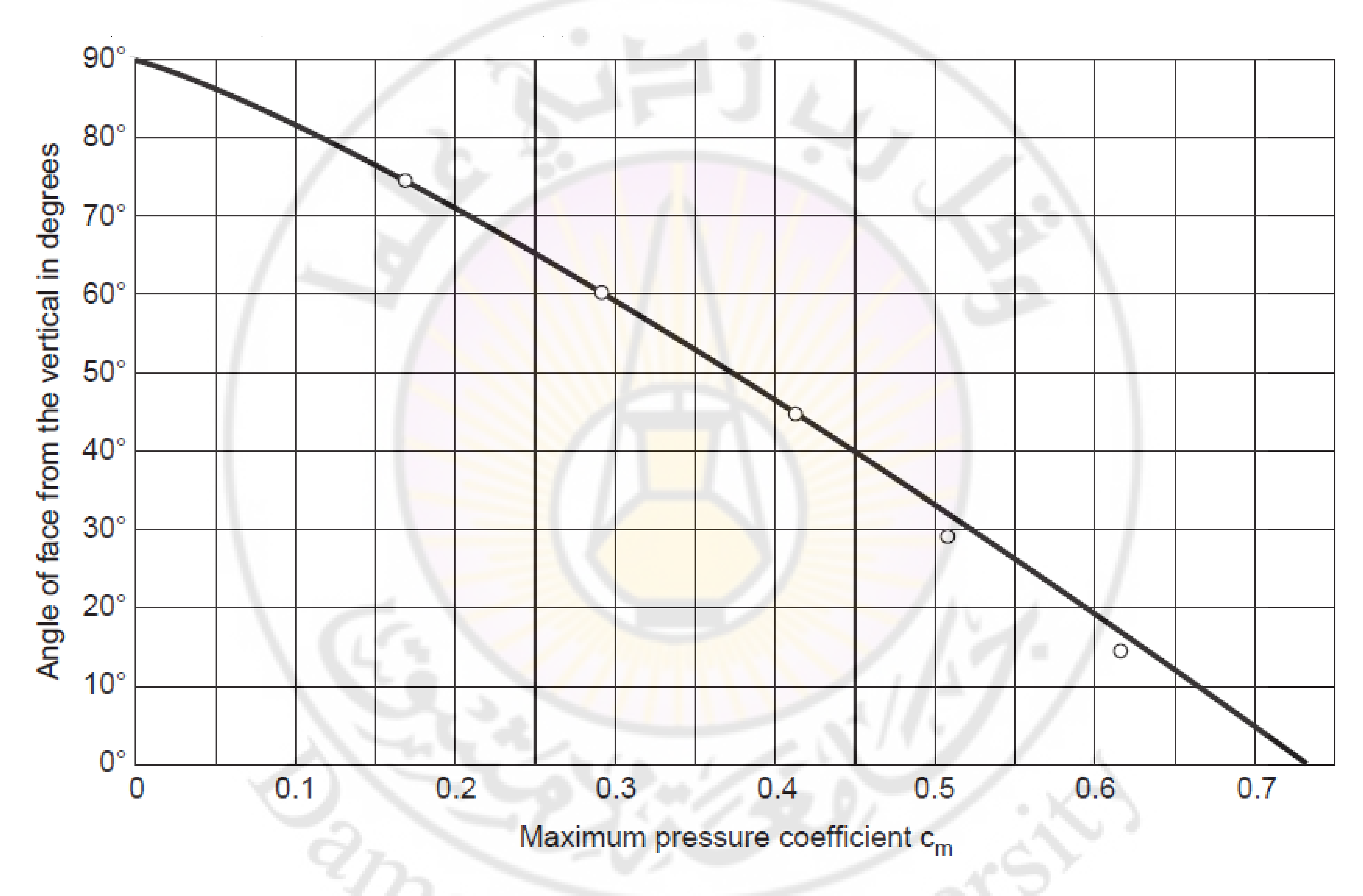
ρ - كثافة الماء (kg/m3)

h -عمق الماء الكلي أمام او خلف السد

Pe- الضغط الزلزالي عمودي على وجه السد عند عمق y

C1 - معامل الضغط (دون واحدة)

Cm –القيمة العظمى ل C1 والتي تؤخذ بدلالة ميل السفح كما في الشكل التالي



Variation of c_m with inclination of the upstream face

القوة الهيدروديناميكية الناتجة عن ماء البحيرة
Hydrodynamic force du e to retained water

- ✓ تبلغ قيمة محصلة الضغط على وجه السد V_{pe} فوق منسوب محدد y :
- ✓ $V_{pe}=0.726 \times P_e \times y$
- ✓ نقطة تطبيق القوة هو $0.4\ y$ اعتبارا من القاع
- ✓ كما يبلغ عزم القوة V_{pe} حول مركز ثقل المقطع الافقي المدروس M_{pe}
- ✓ $M_{pe}=0.299 \times P_e \times y^2$
- ✓ ملاحظة ١: يعتبر تأثير الزلزال على قوى الرفع المائي مهملة
- ✓ ملاحظة٢:السدود التي وجهها الأمامي يتألف من قسم أفقي وآخر شاقول يتم التحليل كما يلي :
- ✓ ١-اذا كان ارتفاع الجزء الشاقولي للوجه المامي أكبر أو يساوي نصف الأرتفاع الكلي يتم الحساب على اعتبار أن كامل الارتفاع بشكل شاقولي
- ✓ ٢-اذا كان ارتفاع الجزء الشاقولي للوجه المامي أصغر من نصف الأرتفاع الكلي يتم الحساب على اعتبار أن كامل الارتفاع بشكل مائل بنفس الميل من سطح الماء الى القاعدة

اختيار القوى الزلزالية ــللحالة الأسوا

حالة :خزان مملوء

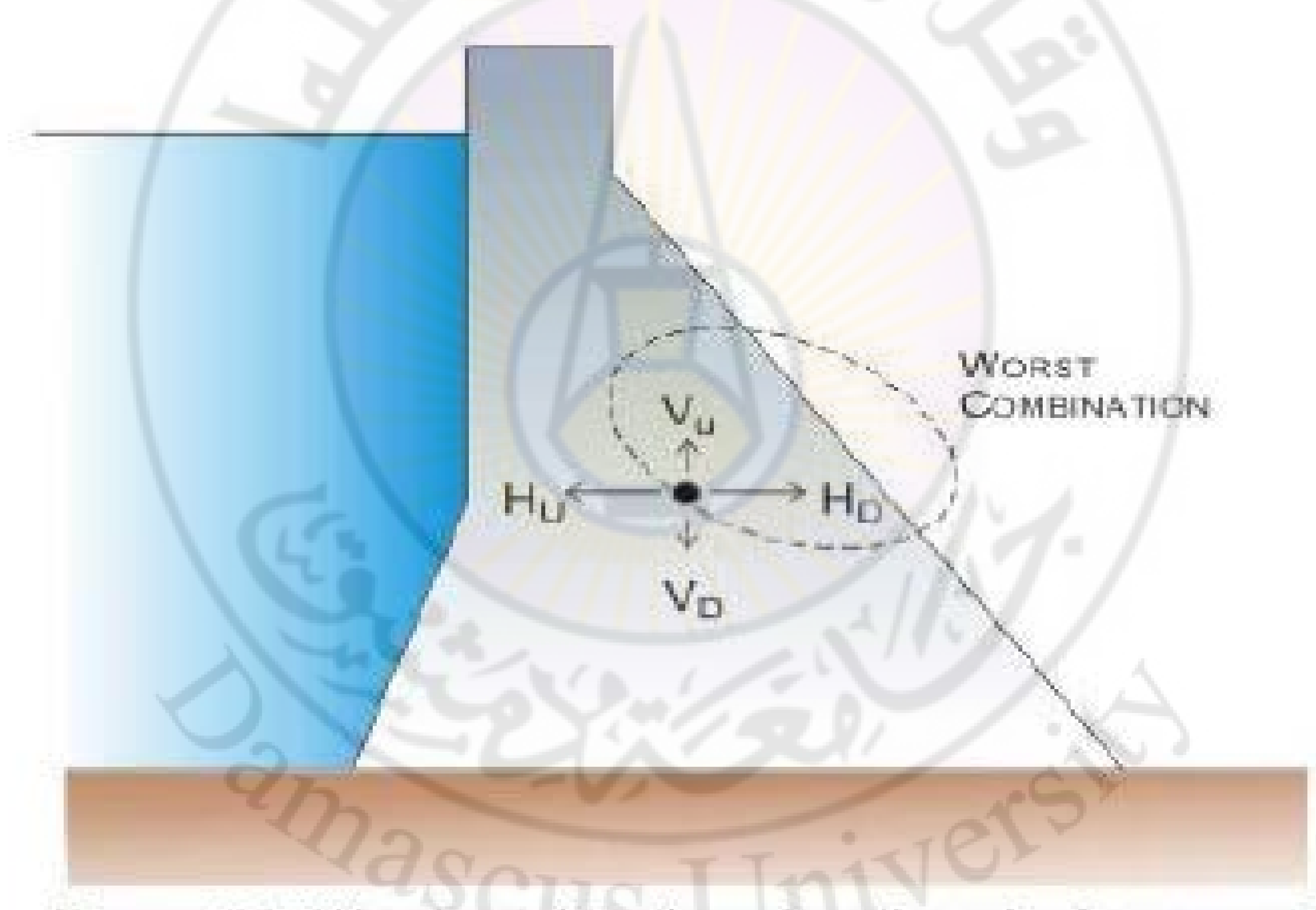


FIGURE 31. Worst combination of earthquake forces under reservoir full condition

اختيار القوى الزلزالية ـللحالة الأسوا

حالة :خزان فارغ

H_u: Horizontal earthquake force acting in the upstream direction
H_D: Horizontal earthquake force acting in the downstream direction
V_u: Vertical earthquake force acting upwards
V_D: Vertical earthquake force acting downwards

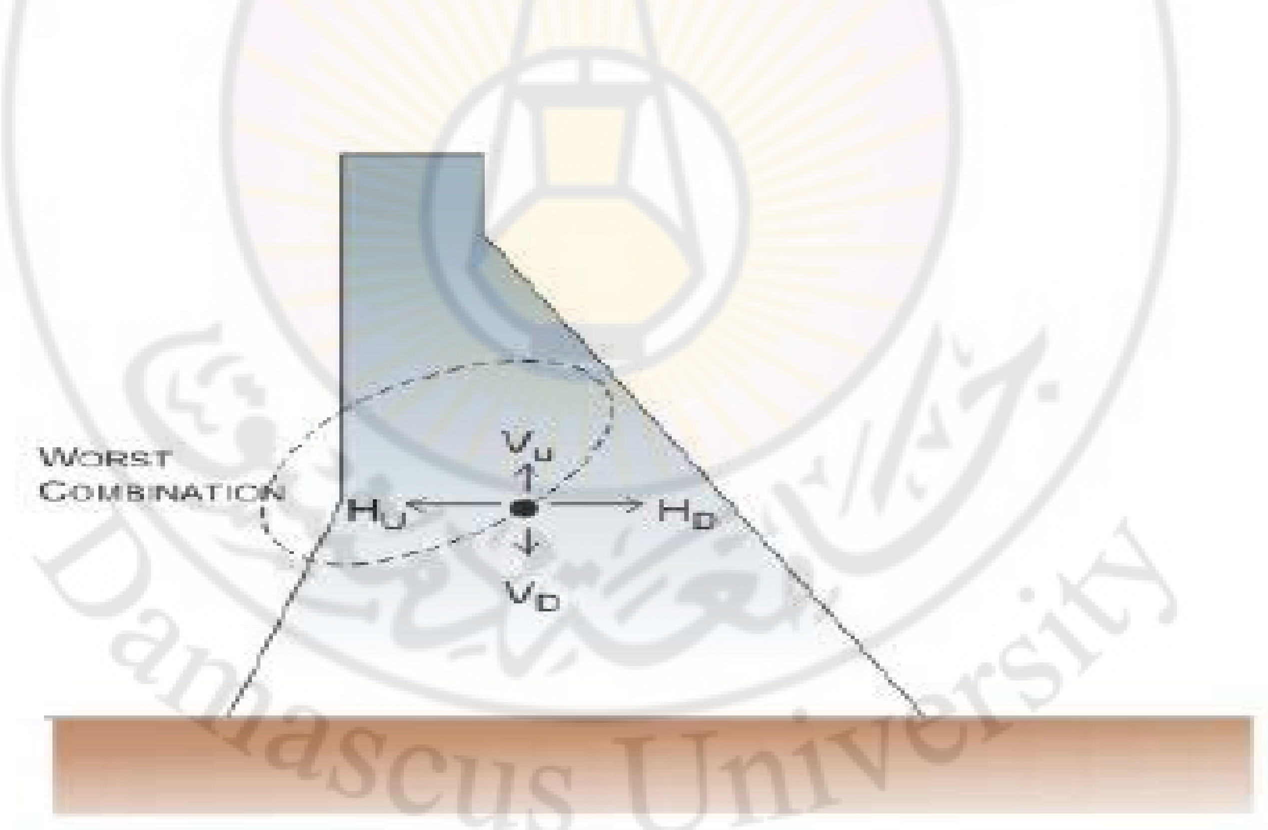


FIGURE 30. Worst combination of earthquake forces under reservoir empty condition

ملاحظة

- عند تصميم السد فان الأحمال الزلزالية تطبق بالاتجاه الذي ينتج أقل أمان للمنشأ (الحالة الأسوأ) وهنا نأخذ حالة بحيرة مملوءة وحالة بحيرة فارغة.

- **١- حالة بحيرة مملوءة**

- في حالة بحيرة مملوءة فان الحالة الأسوا تحصل عندما تكون التسارع الزلزالي الأفقي باتجاه البحيرة أو العالية(upstream) وبما ان التسارع باتجاه البحيرة فان الاساسات للسد تتسارع باتجاه البحيرة وهنا سيقوم الماء المخزن بمقاومة حركة الاساس بما يتناسب مع كتلته ولهذا تؤخذ القوة الناتجة عن الماء باتجاه معاكس للتسارع الزلزالي

- **٢- حالة بحيرة فارغة**

- لحالة البحيرة فارغة فالحالة الأسوأ تحدث عنما يكون التسارع الزلزالي الأفقي باتجاه الوطي (downstream) وقوة العطالة تؤثر باتجاه العالية (upstream)

ملاحظة

تأثير الزلزال الأفقي

- هذه القوة تؤثر افقيا باتجاه البحيرة أو باتجاه عكس البحيرة وهذا يعتمد على اتجاه التسارع الزلزالي وذلك خلال مركز ثقل مقطع السد . لهذا الحالة الأسوأ نحصل عليها اذا اثرت القوة:
- ١-باتجاه البحيرة (upstream)اذا كانت البحيرة مملوءة
- ٢- باتجاه عكس البحيرة (downstream) لحالة بحيرة فارغة

تأثير الزلزال الشاقولي

- هذا سيؤثر على قوى العطالة لبيتون السد والماء المخزون ،ستزيد هذه القوى اذا كان التسارع الزلزالي يؤثر شاقوليا للأعلى وستنقص هذه القوى عندما يؤثر التسارع الزلزالي باتجاه الأسفل (downward) ،لهذا الحالة الأسوأ تحدث عندما تؤثر باتجاه الأسفل(downward) للحالتين كون البحيرة مملوءة أو فارغة

ملخص الأحمال ذات التوافق العادي والاستثنائي على سد ثقلي

Summary of loads on gravity dam

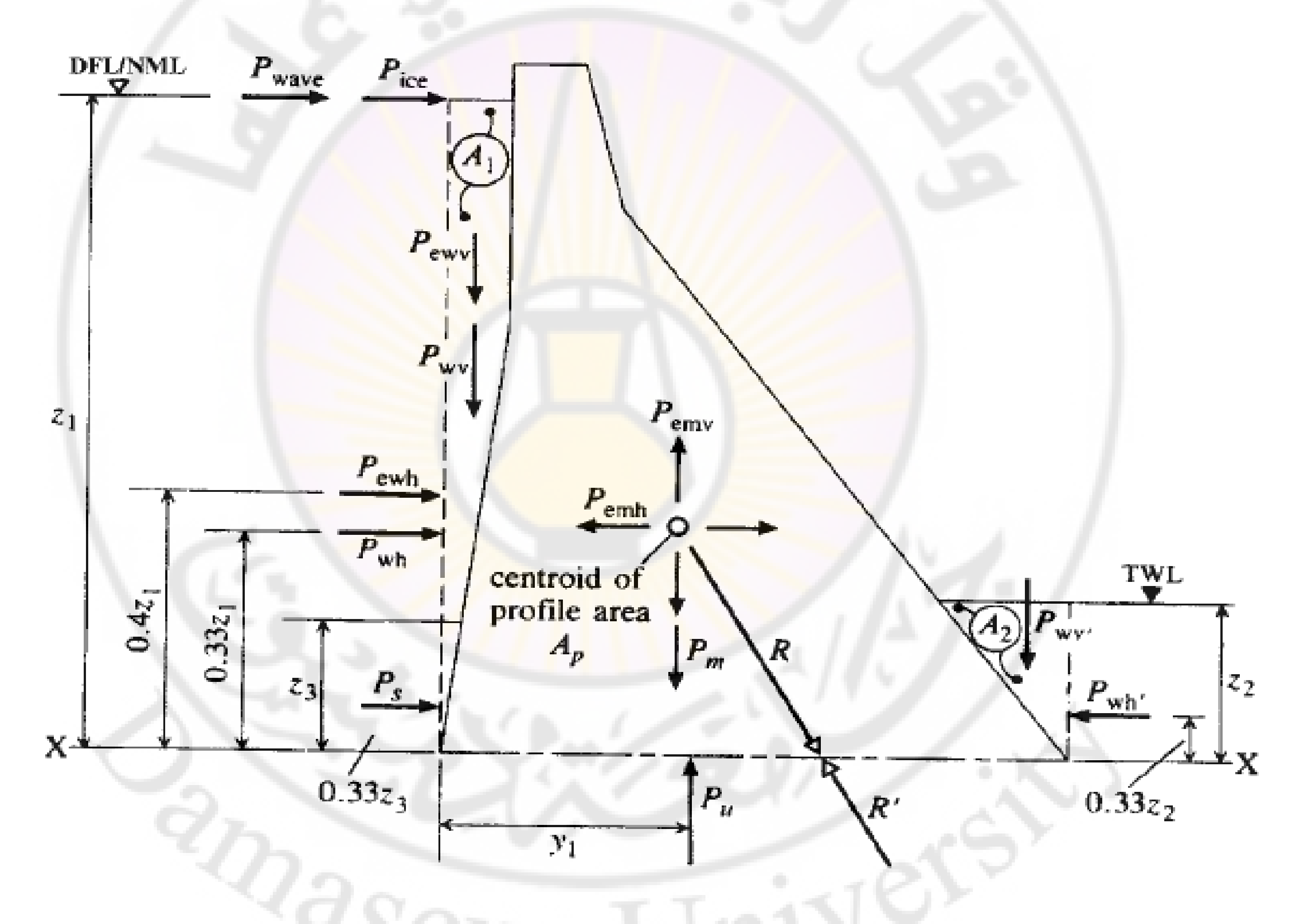


Fig. 3.1 Gravity dam loading diagram. DFL = design flood level; NML = normal maximum level, i.e. maximum retention level of spillweir; TWL = tailwater level

ملخص الأحمال ذات التوافق العادي والاستثنائي على سد ثقلي

Z1 - ارتفاع الماء أمام السد

Z2 - ارتفاع الماء خلف السد

Z3- ارتفاع الطمي

Pwave- ضغط الأمواج

Pice - ضغط الجليد

Pewv – القوة الزلزالية الشاقولية الناتجة عن وزن الماء فوق الجزء المائل

Pwv – وزن الماء فوق الجزء المائل أمام السد

Pewh – القوة الزلزالية الأفقية الناتجة عن الماء في أمام السد

Pwh – ضغط الماء الساكن على وجه السد الأمامي

Ps – ضغط الطمي

Pwh´ – ضغط الماء الساكن على وجه السد الخلفي

Pwv´ – وزن الماء فوق الجزء المائل خلف السد

Pu - قوة الرفع المائي

R - محصلة رد الفعل

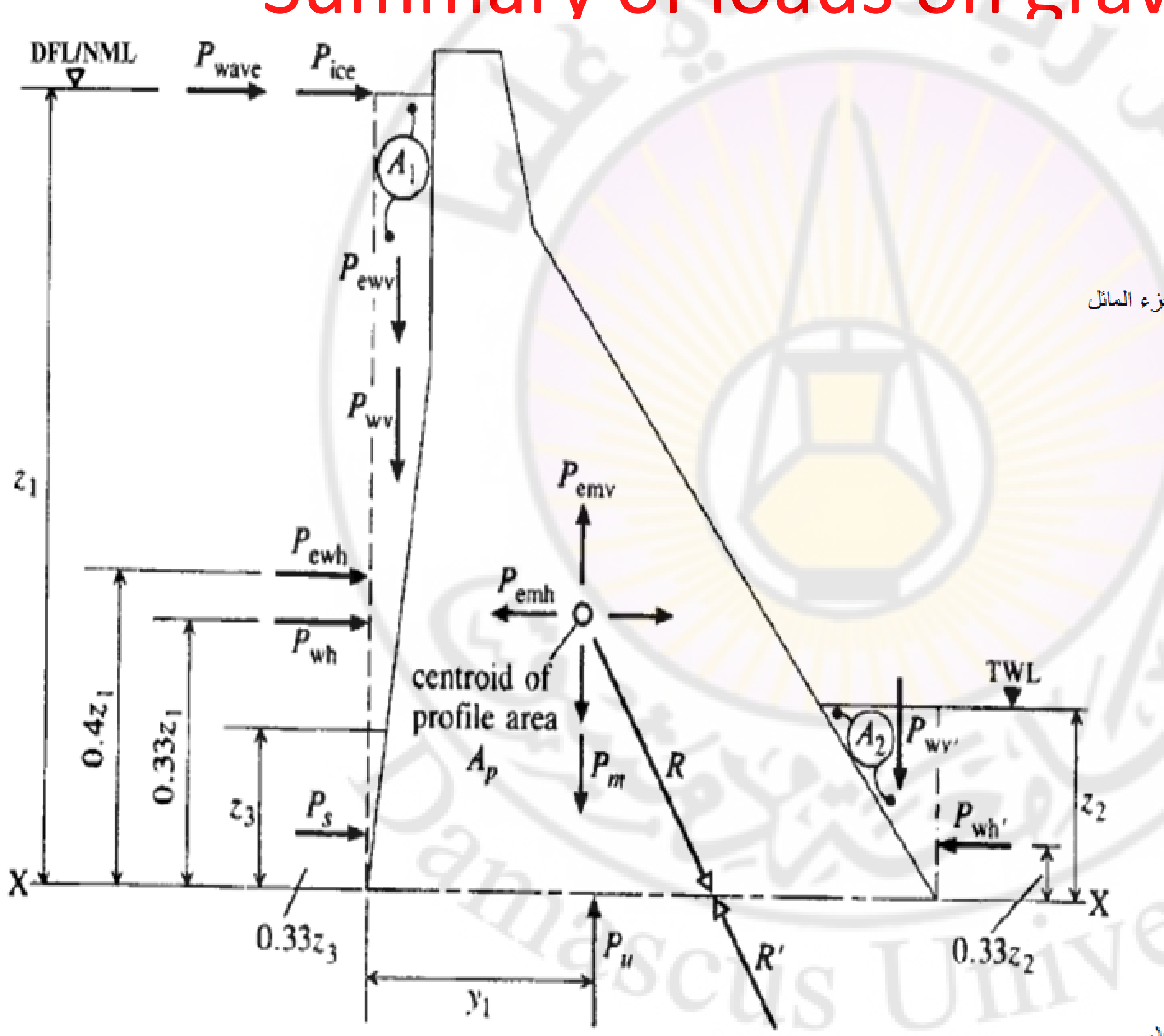
Pm - وزن كتلة السد

Pemh - قوة الزلزال الأفقية الناتجة عن كتلة السد

Pemv - قوة الزلزال الشاقولية الناتجة عن كتلة السد

ملخص الأحمال ذات التوافق العادي والاستثنائي على سد ثقلي

Summary of loads on gravity dam



Z1 - ارتفاع الماء أمام السد

Z2 - ارتفاع الماء خلف السد

Z3- ارتفاع الطمي

Pwave- ضغط الأمواج

Pice - ضغط الجليد

Pewv – القوة الزلزالية الشاقولية الناتجة عن وزن الماء فوق الجزء المائل

Pwv – وزن الماء فوق الجزء المائل أمام السد

Pewh – القوة الزلزالية الأفقية الناتجة عن الماء في أمام السد

Pwh – ضغط الماء الساكن على وجه السد الأمامي

Ps – ضغط الطمي

Pwh´ – ضغط الماء الساكن على وجه السد الخلفي

Pwv´ – وزن الماء فوق الجزء المائل خلف السد

Pu - قوة الرفع المائي

R - محصلة رد الفعل

Pm - وزن كتلة السد

Pemh - قوة الزلزال الأفقية الناتجة عن كتلة السد

Pemv - قوة الزلزال الشاقولية الناتجة عن كتلة السد

توافق الأحمال

Load combination

- تصميم السد يجب ان يستند على التوافقات للقوى التي تؤدي للحالة الأسوأ لظروف او حالات التحمي الممكنة لكن يجب ان تكون هذه التوافقات ممكنة للحدوث في آن واحد

✓ **<u>ثلاث توافقات أساسية كافية لمعظم الظروف وهي</u>:**

١-حالة تحميل عادية

Normal or usual load combinations(NLC)

٢-حالة تحميل عادية

unusual load combinations(ULC)

3 -حالة تحميل استثنائية

Extreme load combinations (ELC(

Load source	Qualification	Load combination		
		NLC	ULC	ELC
Water	At design flood level		X	
	At reservoir full level	X		X
Tail Water	At maximum tailwater level	X		X
	Minimum		X	
Self weight	-	X	X	X
Uplift	Drains functioning	X	X	
	Drains inoperative	X	X	X
silt	-	X	X	X
Ice	-	X	X	X
Seismic	-			X

حالات التحقق أو أمان السد

- يجب أن يتم تحقيق السد على الحالات التالية والتي وضعت اصلا من مراقبة أسباب الانهيار :
- ١- التحقق على الانقلاب Overturning
- يعرف معامل الأمان بأنه مجموع عزوم القوى المقاومة للانقلاب الى مجموع القوى المساعدة على الانقلاب
- ٢- التحقق على الانزلاق Sliding
- يعرف معامل الأمان على الانزلاق بأنه نسبة مجموع القوى المقاومة لانزلاق الى مجموع القوى المساعدة على الانزلاق
- ٣-التحقق من الاجهادات Overstress
- يجب حساب الاجهادات في كل مقاطع السد والتأكد من عدم ظهور اجهادات شد وأن تكون الاجهادات الناظمية أقل من المسموحة حسب عيار الخرسانة

التحقق على الانقلاب

Stability against overturning

$$\eta_K = \frac{\sum V \cdot e_V}{W_1 \cdot e_W + S_2 \cdot e_S}$$

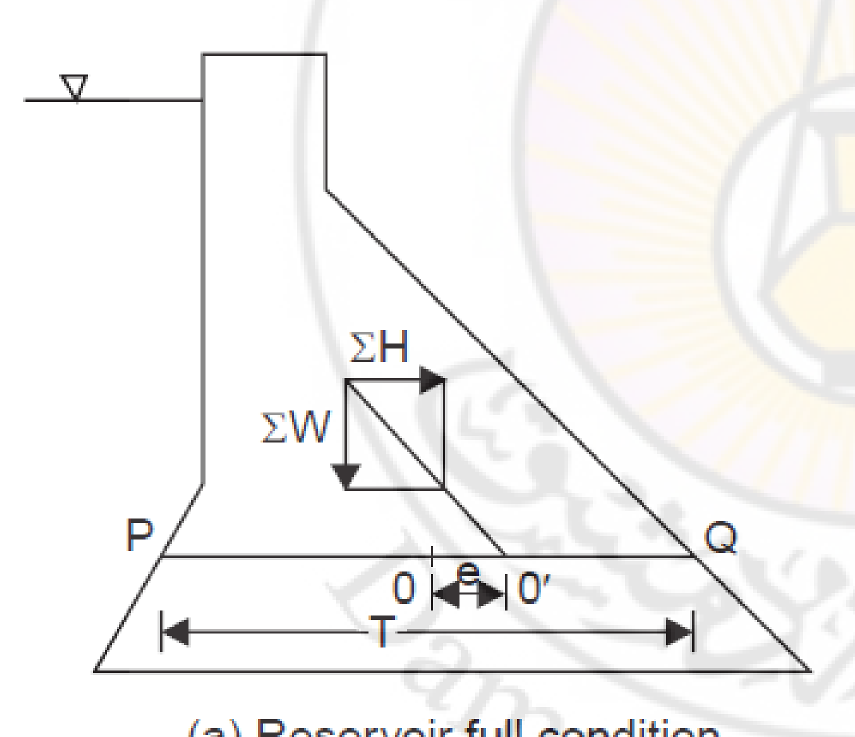
- η_k=Factor of safety against overturning about o
- η_k = sum of moment of overturning forces divide by sum of resistaning forces
- $\sum V$=sum of vertical forces
- W1=sum of horizontal forces
- S2=Uplift pressure

التحقق على الانزلاق
Stability against sliding

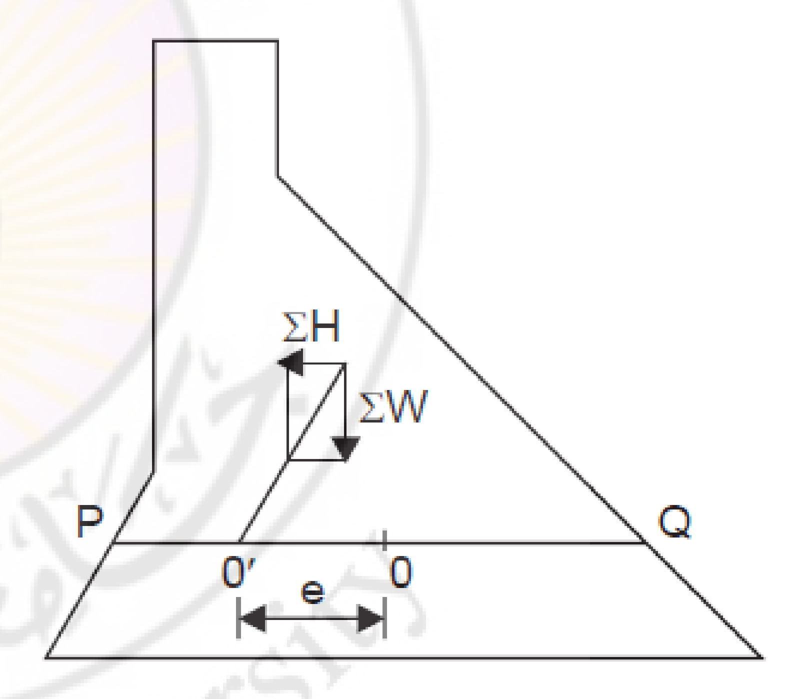
- $\eta_s = \mu * \sum V / \sum H$
- - η_s=factor of safety against sliding
- - $\sum V$= sum of all vertical forces
- - $\sum H$= sum of all horizontal forces
- - μ = Coefficient of friction of materials

التحقق من الاجهادات
الاجتهادات الناظمية

$$\sigma_{yx} = \frac{\Sigma W}{A} \pm \frac{(\Sigma W)\,e}{I}x$$



(a) Reservoir full condition



(b) Reservoir empty condition

Fig. 16.4 Resultant force on a gravity dam

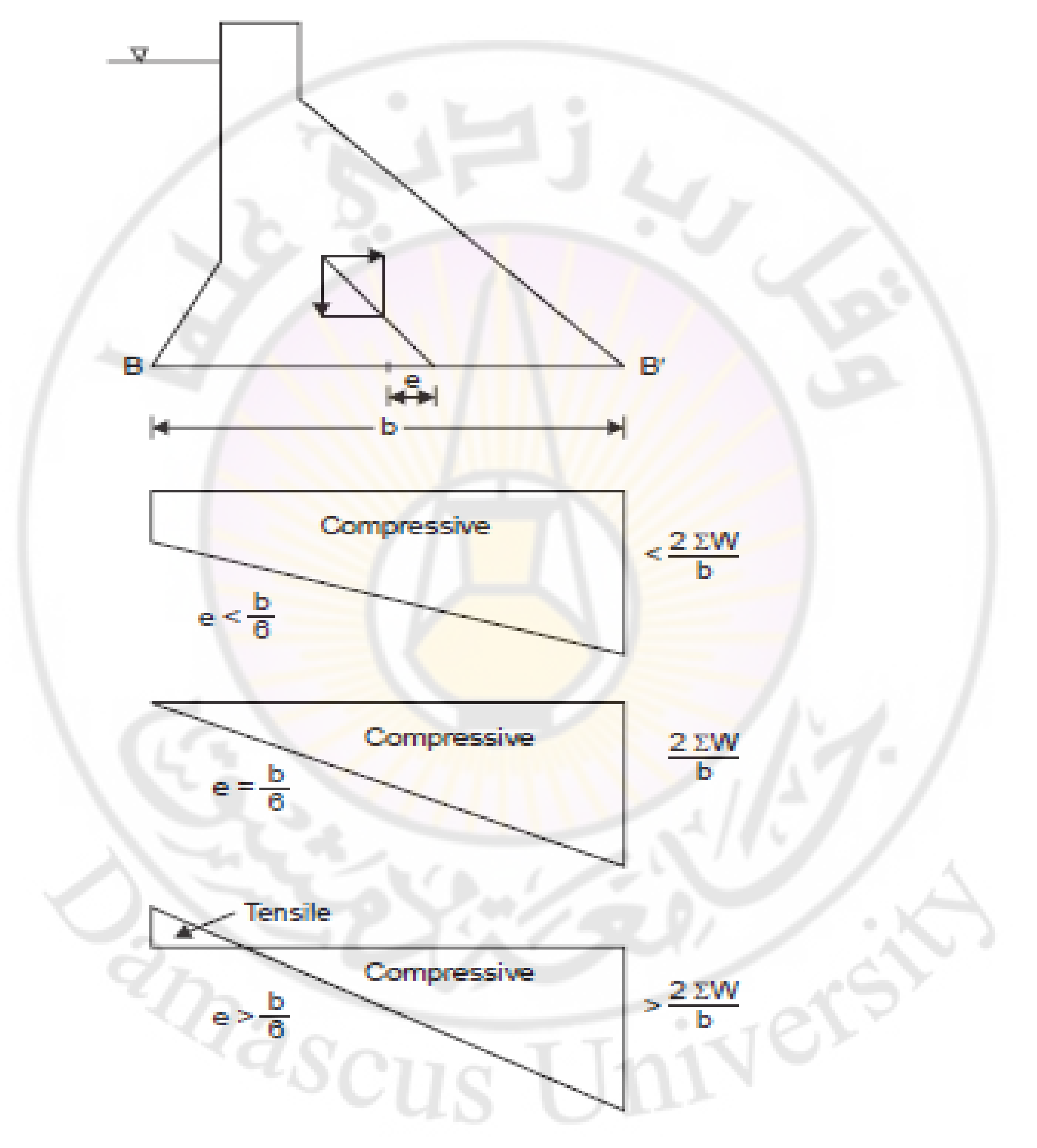


Fig. 16.5 Normal stresses on the base of a gravity dam

التحقق من الاجهادات
الاجهادات الرئيسية

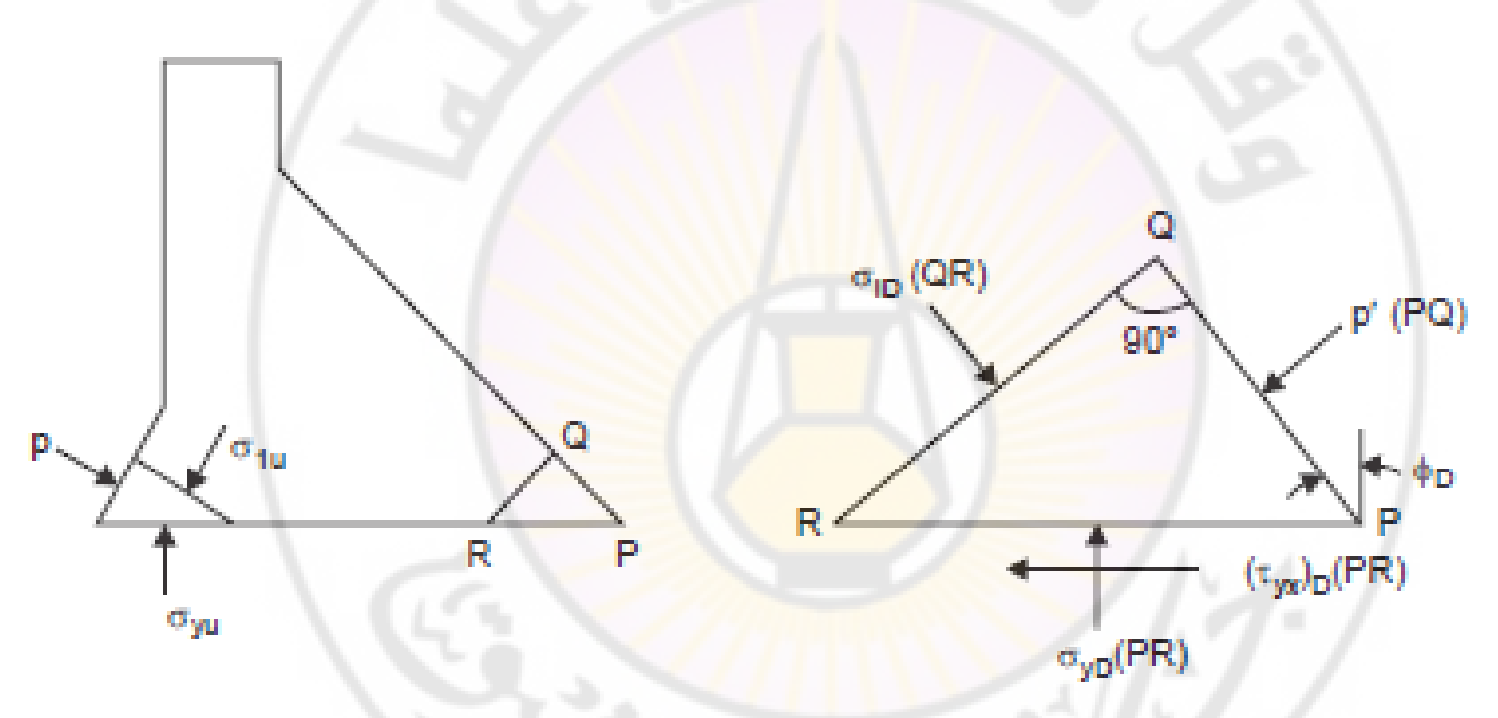


Fig. 16.6 Principal stresses in a gravity dam

$$\sigma_{1D}\,(QR)\cos\phi_D + p'\,(PQ)\sin\phi_D - \sigma_{yD}\,(PR) = 0$$

$$\sigma_{1D}\,(PR)\cos^2\phi_D + p'\,(PR)\sin^2\phi_D - \sigma_{yD}\,(PR) = 0$$

$$\sigma_{1D} = \sigma_{yD}\sec^2\phi_D - p'\tan^2\phi_D \qquad (16.16)$$

تفاصيل انشائية-Construction details

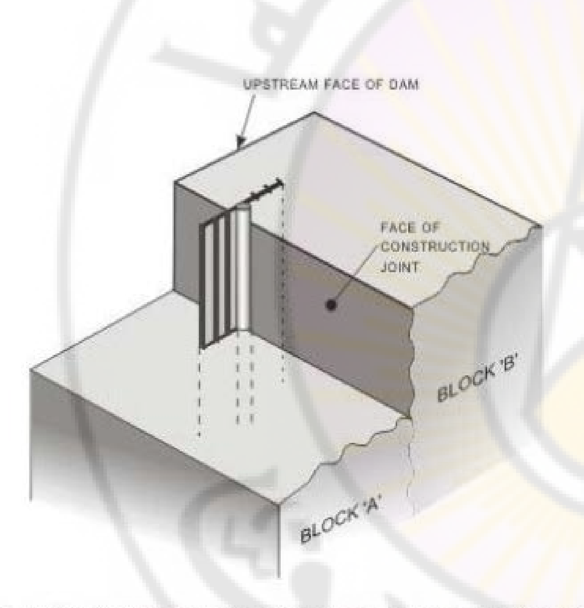


FIGURE 10. Typical installation of a water stop near upstream face of dam

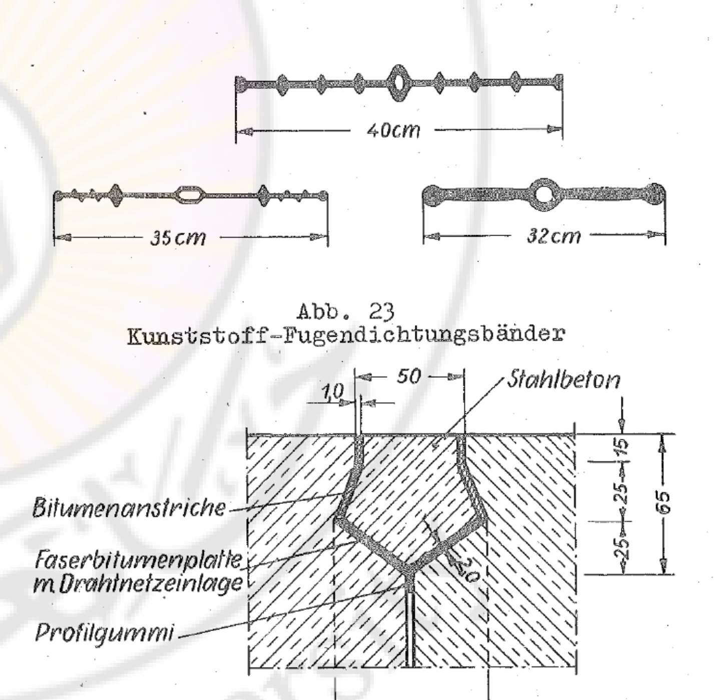


Abb. 23
Kunststoff-Fugendichtungsbänder

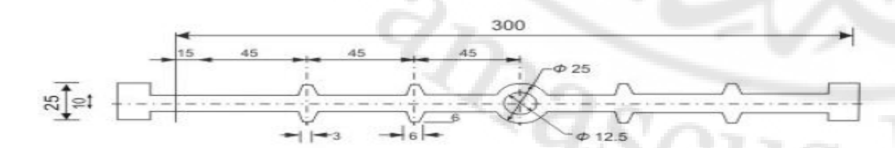


FIGURE 11. Cross section of a PVC water stop
(All dimensions are in mm)

قالب منزلق لصب الخرسانة

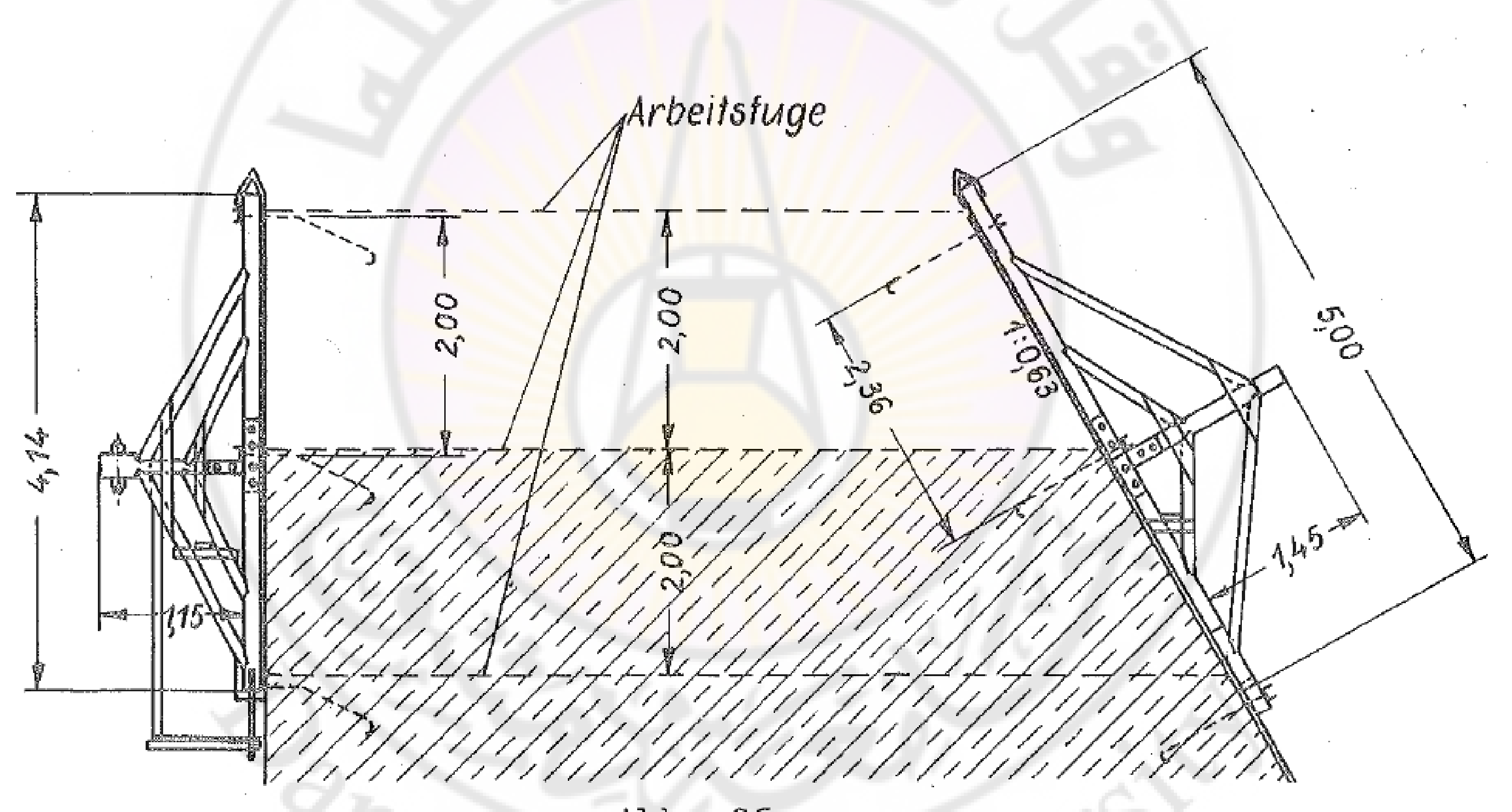


Abb. 26
Klettertafelschalung für die Wasser- und Luftseite

تقسيم مقطع السد إلى عيارات بيتون مختلفة حسب الأهمية

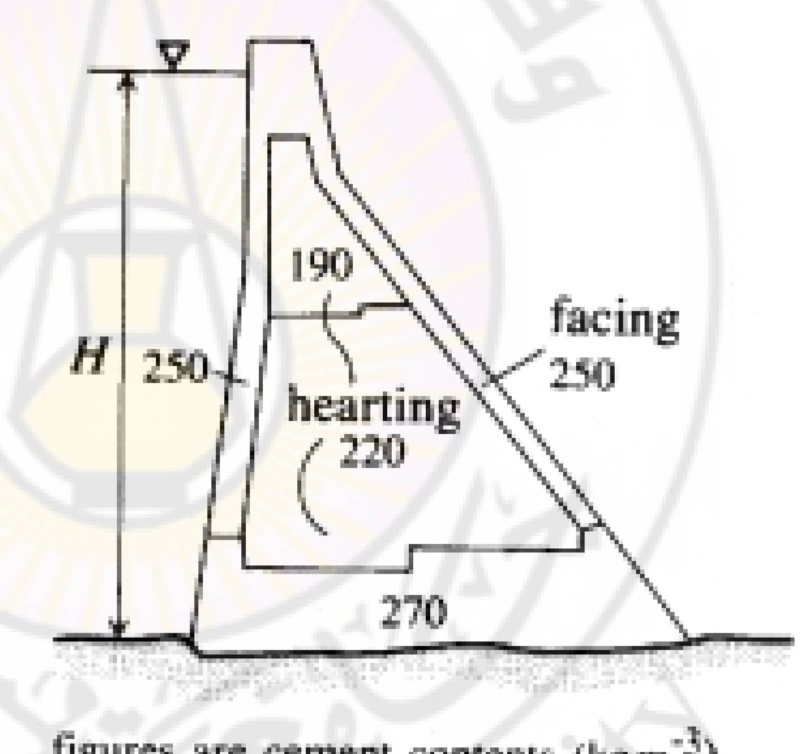
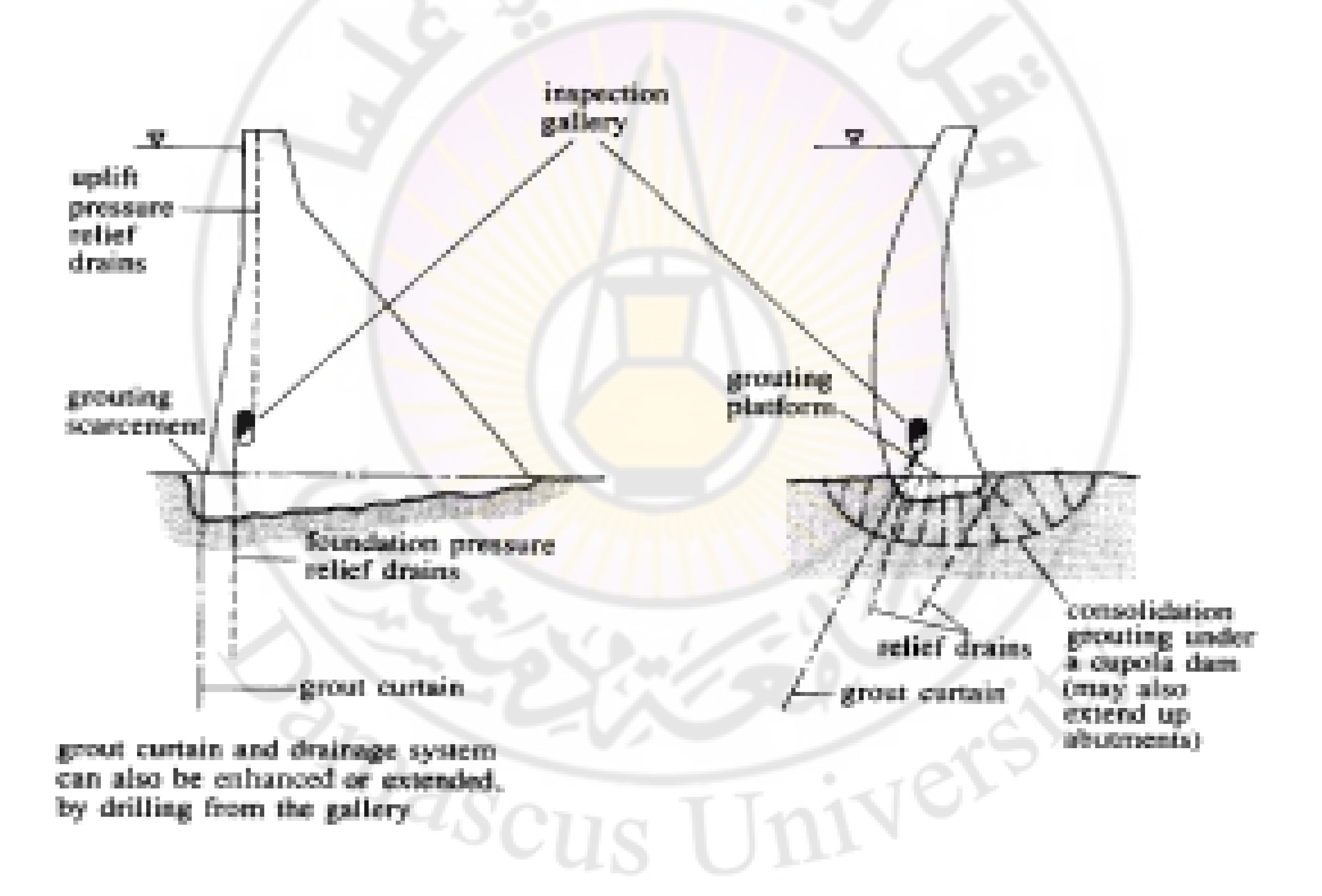


Fig. 3.20 Zoning of concretes in high dams ($H > 100$ m)

معالجة اساسات السدود الثقلية

- في حالة كوون اساسات السد متشققة أو غير كتيمة نقون باعما تكتيم الأساسات وهي على نوعين :
- اعمال حقن عميقة (اسمنت وماء بنسب محددة حسب نوع وطبيعة الأساس)للحد من الرشح عبر آبار بتباعدات ٢-٣ م وقد يصل العمق الى عمق الماء تقريبا وقد ينفذ على صف أو عدة صفوف ويسمى هذا النوع   curtain grouting
- أعمال حقن سطحية لتقوية الاساس والتوطيد وتساعد في خفض الرشح حيث يكون الصخر متشققا أكثر من الصخر العميق ومعرضا للتجوية ويسمى هذا النوع Consolidation grouting

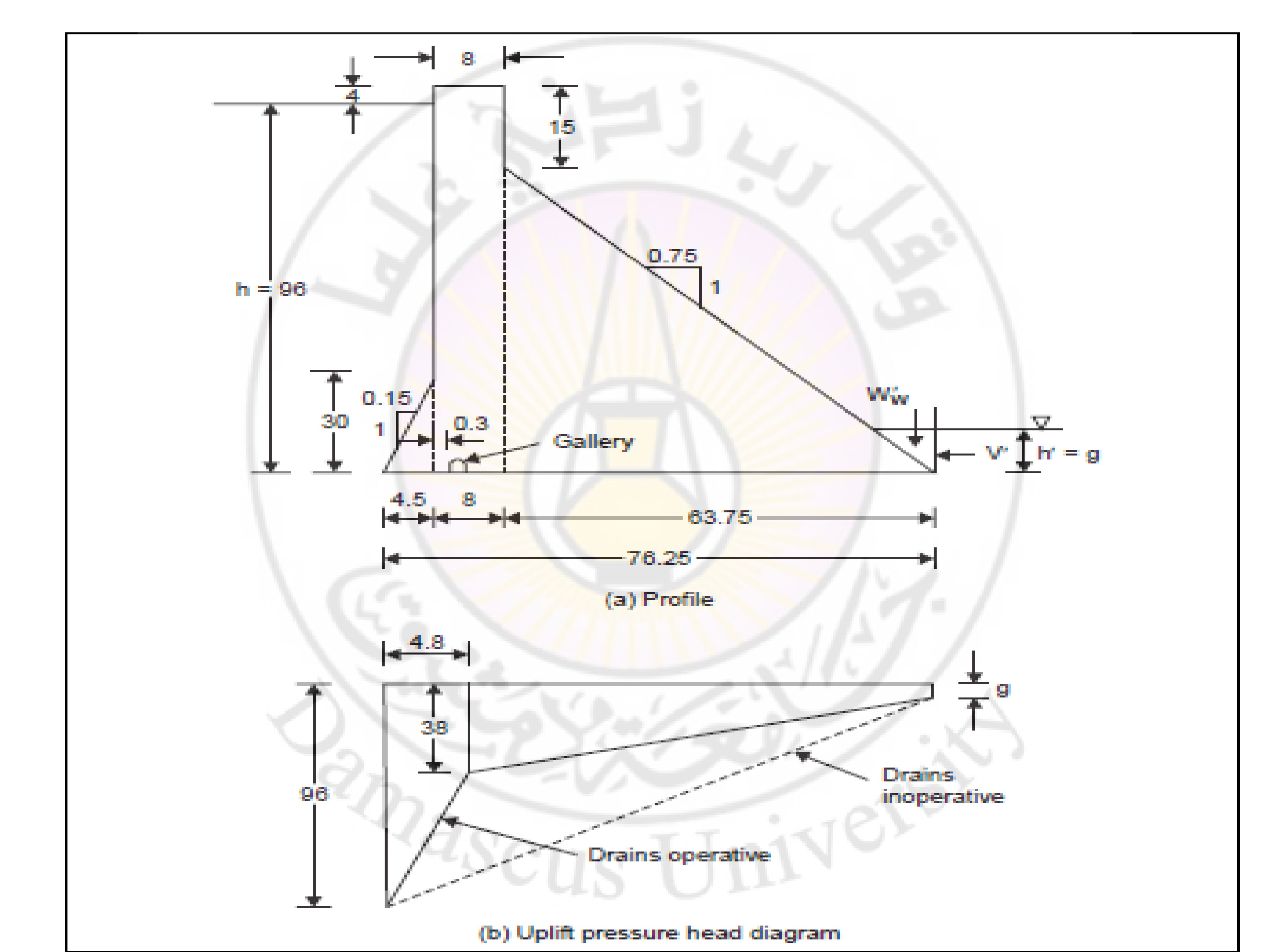
حقن أساسات السدود



تطبيق

- لمقطع السد الثقلي المبين ادناه احسب:
- ١-الاجهادات الرئيسية لحالة التحميل العادية (usual loading)
- ٢-الاجهادات الناظمية لحالة التحميل الاستثنائية (extreme loading) عند القدم الخلفي والامامي لقاعدة السد
- ٣- احسب معامل الأمان على الانقلاب (حالة مصرف معطل)
- ٤-احسب معامل الأمان على الانزلاق (حالة مصرف معطل)
- اعتبر فقط التسارع الزلزالي باتجاه الأسفل لحالة التحميل الاستثنائي
- المعطيات :
- ارتفاع الطمي ١٥ م
- معامل الاحتكاك لحالة التحميل العادي μ=٠.٧
- معامل الاحتكاك لحالة التحميل العادي μ=٠.٨٥
- متانة القص عند اتصال الصخر مع الخرسانة $C=150*10^4\ N/m^2$
- الوزن الحجمي للبيتون $\gamma c= 2.4*10^4\ N/m^2$

معاملات التسارع الزلزالي
- $\alpha h=0.1$, $\alpha v=0.05$
- ملاحظة: راجع معلوماتك في مقرر المنشآت المائية
- افرض المعطيات الناقصة



(a) Profile

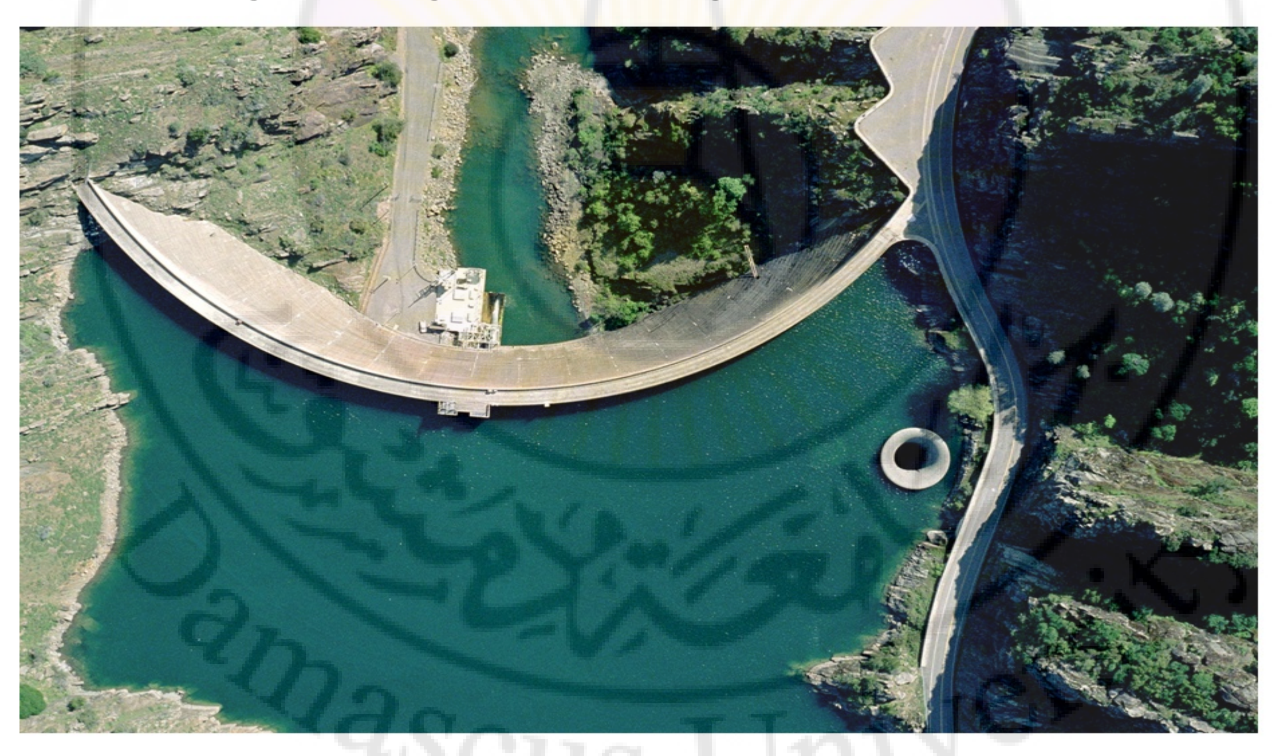
(b) Uplift pressure head diagram

جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية

السنة الرابعة

هندسة السدود- السدود القوسية



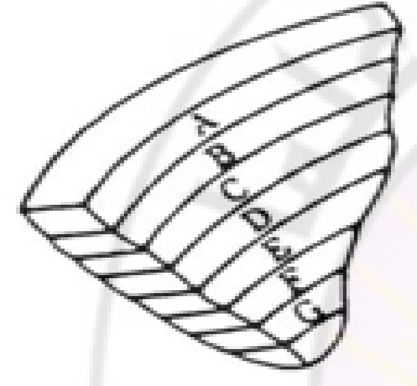
Monticello Dam in California

السدود القوسية

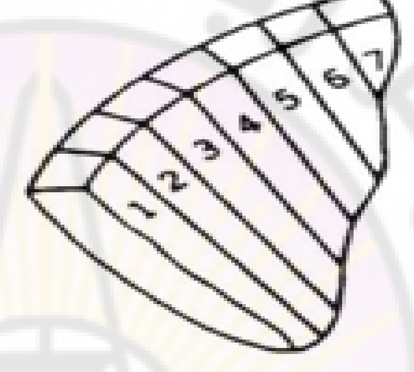
Arch Dams

- السدود القوسية هي سدود منحنية في المسقط وتنقل معظم قوى الضغط المائي افقيا الى الجوانب (اكتاف الوادي)بالفعل القوسي (Arch action) لهذا فانه من الضروري والمهم أن تكون هذه الاكتاف للوادي قادرة على تحمل تلك القوى.
- ينقل السد القوسي الجزء الاعظم من الاحمال المائية الى جوانب الوادي أكثر من نقلها الى الارضية أو الاساس .كما ان نسبة معينة من الدفع المائي ينتقل شاقوليا الى الاساس عن طريق العمل الظفري (Cantilever action)،انظر الشريحة التالية.
- من خلال استخدام السدود القوسية يمكن توفير كمية كبيرة من حجم البيتون وحفريات الاساسات وتحضيرها
- التوفير في حجم البيتون (خفض سماكة البيتون) يمكن زيادتها عن طريق جعل جسم السد ليس منحنيا بالمسقط فقط انما بالمقطع
- الوديان أو الانهار ذات المقطع الضيق هي الاكثر ملائمة لتنفيذ السدود القوسية.

العناصر الانشائية لسد قوسي - شكل الوادي V أو U

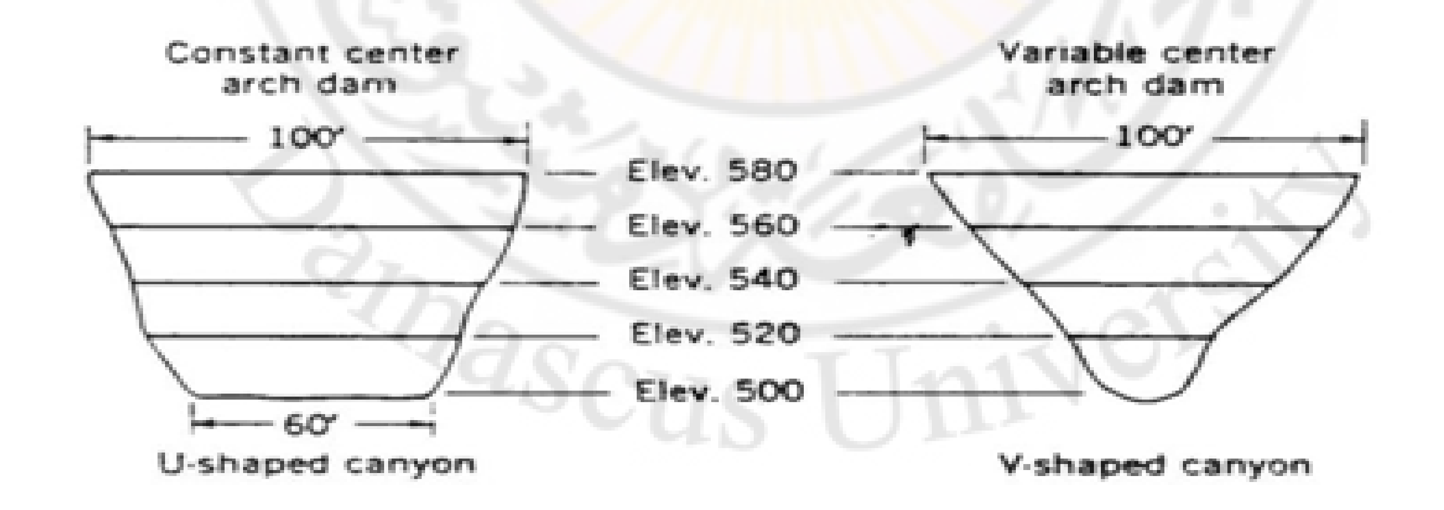


(a) Series of horizontal arches



(b) Series of vertical cantilevers

Structural elements of an arch dam.

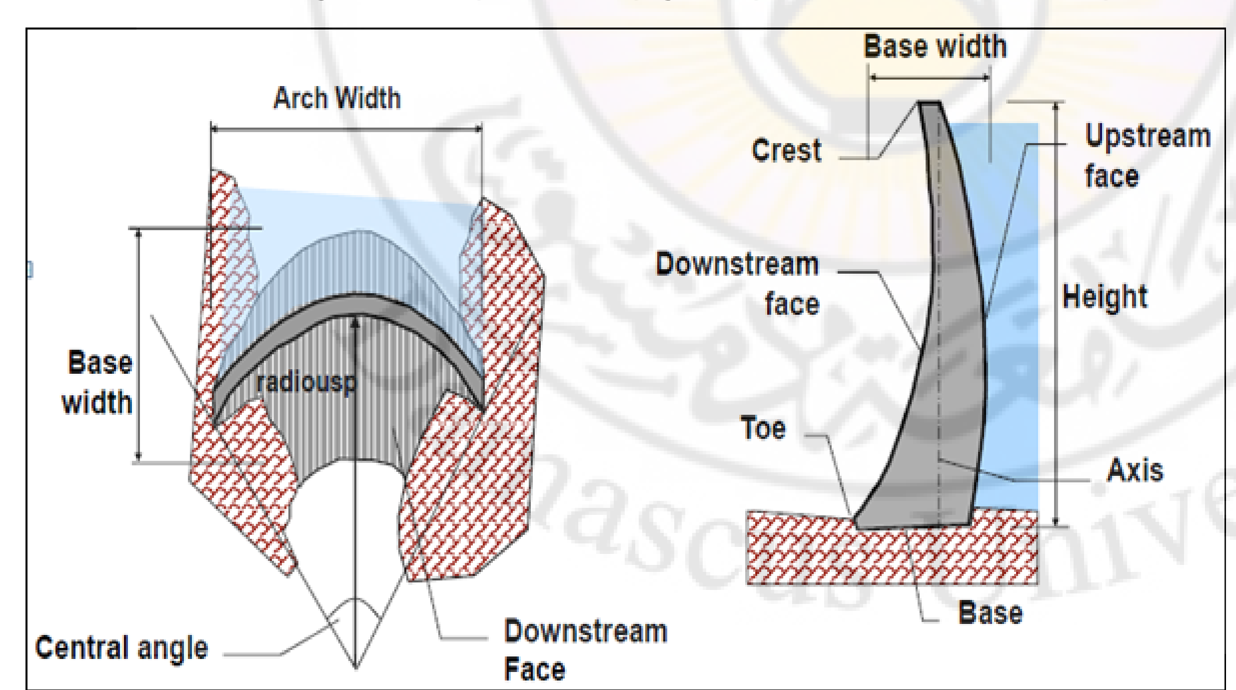


U-shaped canyon

V-shaped canyon

متى وكيف نصمم السد القوسي

- يكون تصميم السد القوسي مناسبا اذا كانت نسبة العرض B الى الارتفاع H اصغر او تساوي ٦ أي : $(B/H<6)$: انظر الشكل ادناه:
- يجب ان تكون القاعدة وضفاف الوادي التي سيؤسس عليها السد صلبة وذات قدرة تحمل كافية ،
- كما ان الاجهادت الناتجة عن الاحمال يجب ان تكون اقل من المسموحة
- توفير كمية البيتون



أنواع السدود القوسية

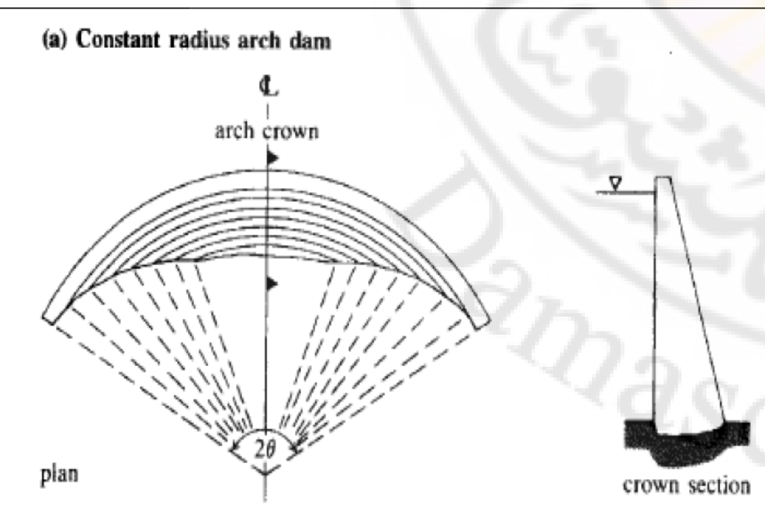
Types of Arch Dams

- تقسم السدود القوسية البسيطة الى ثلاثة أنواع
- ١- سد قوسي بنصف قطر ثابت
- *Constant radius arch dam*
- ٢-سد قوسي بنصف قطر متغير
- *Variable radius arch dam*
- ٣-سد قوسي بزاوية ثابتة
- *Constant angle arch dam*
- ٤- سد قوسي منحني بالمسقط وبالمقطع
- Cupola arch dam
- يعتبر السد بنصف قطر ثابت هو الابسط بالتصميم والتنفيذ لكنه يحتاج الى الكمية الاكبر من الخرسانة ،بالمقابل السد القوسي ذي الزاوية الثابتة يحتاج الى ٤٣% والسد القوسي ذي نصف القطر المتغير ٥٨% من احتياج السد القوسي ذي نصف القطر الثابت.

سد قوسي بنصف قطر ثابت

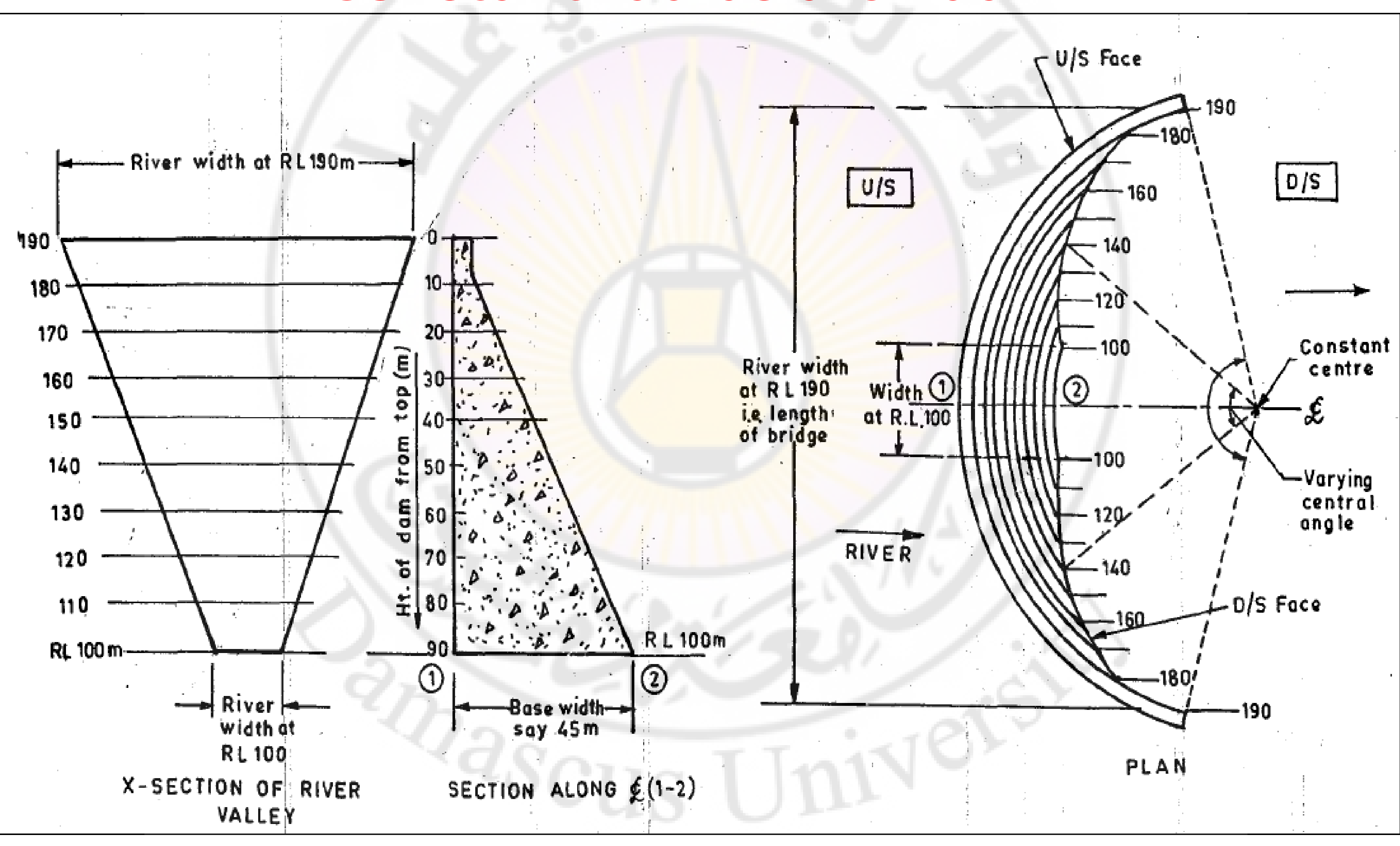
Constant radius arch dam

- السد القوسي ذو نصف القطر الثابت يكون له انصاف اقطار انحناء السطح الخارجي ثابتة(اي السطح الملامس للماء) عند كل المناسيب او المستويات من القمة الى القاعدة.
- تقع مراكز الأقواس الدائريه هذه (انصاف اقطار خاجية extrodos) بالتأكيد على مستقيم شاقولي ، بينما انصاف الأقطار الداخلية لسطوح الأقواس (introdos)تنخفض تدريجيا من القمة الى القاعدة ،وهذا يعني زيادة سماكة البيتون من القمة للقاعدة لتقاوم الزيادة بالضغط المائي الهيدروستاتيكي من الخزان.
- ان شكل مقطع السد مثلث ذو وجه امامي ملامس للماء قائم وسماكة دنيا عند القمة تلبي متطلبات الطريق واستخداماته،تزداد السماكة من القمة الى القاعدة
- الزاوية المركزية تبلغ قيمتها العظمى لقوس القمة للسد
- يستخدم هذا النوع في الوديان على شكل حرف U
- *الشكل جانبا يبين مسقو ومقطع لسد قوسي نصف قطره ثابت*

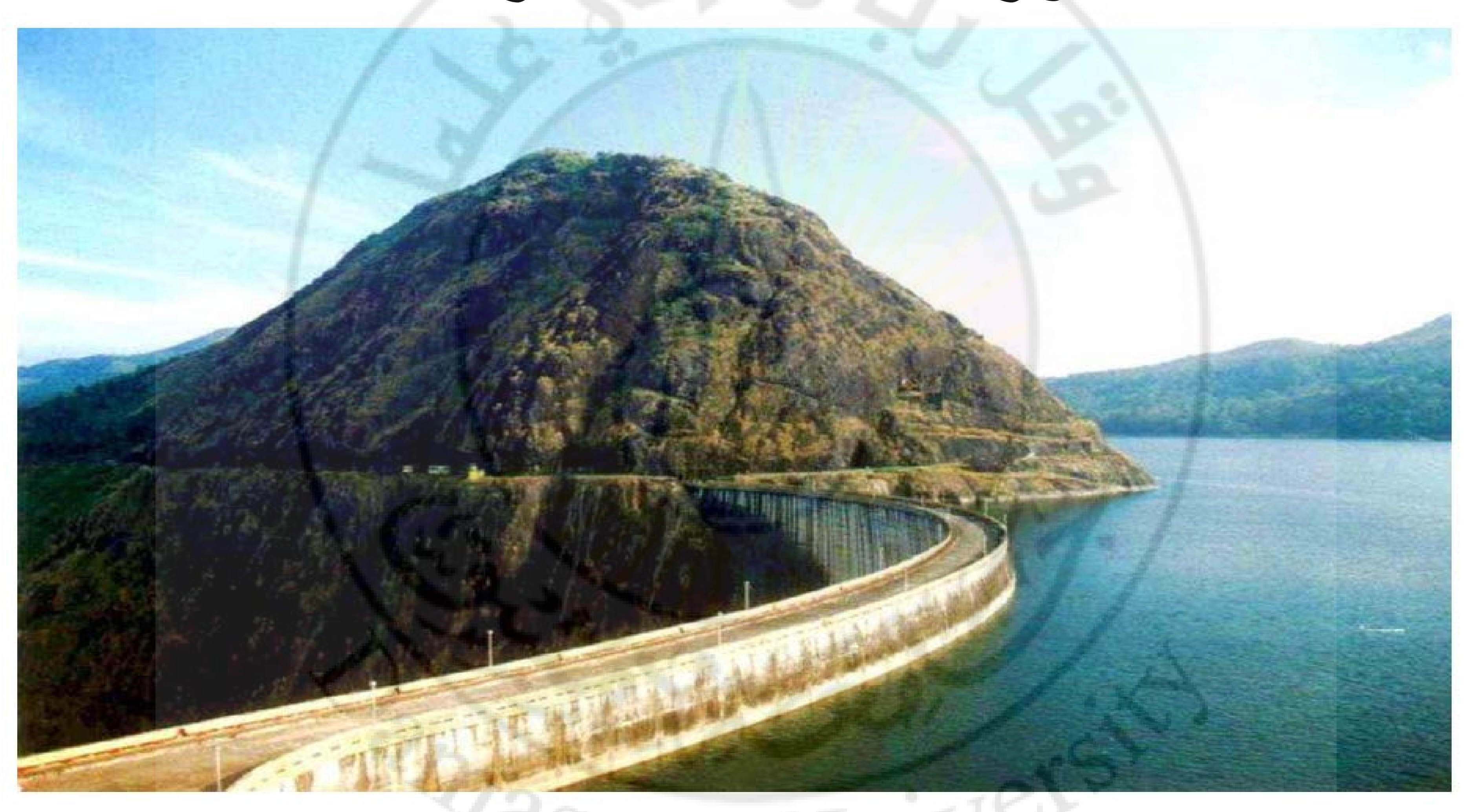


سد قوسي بنصف قطر ثابت - مسقط ومقطع

Constant radius arch dam

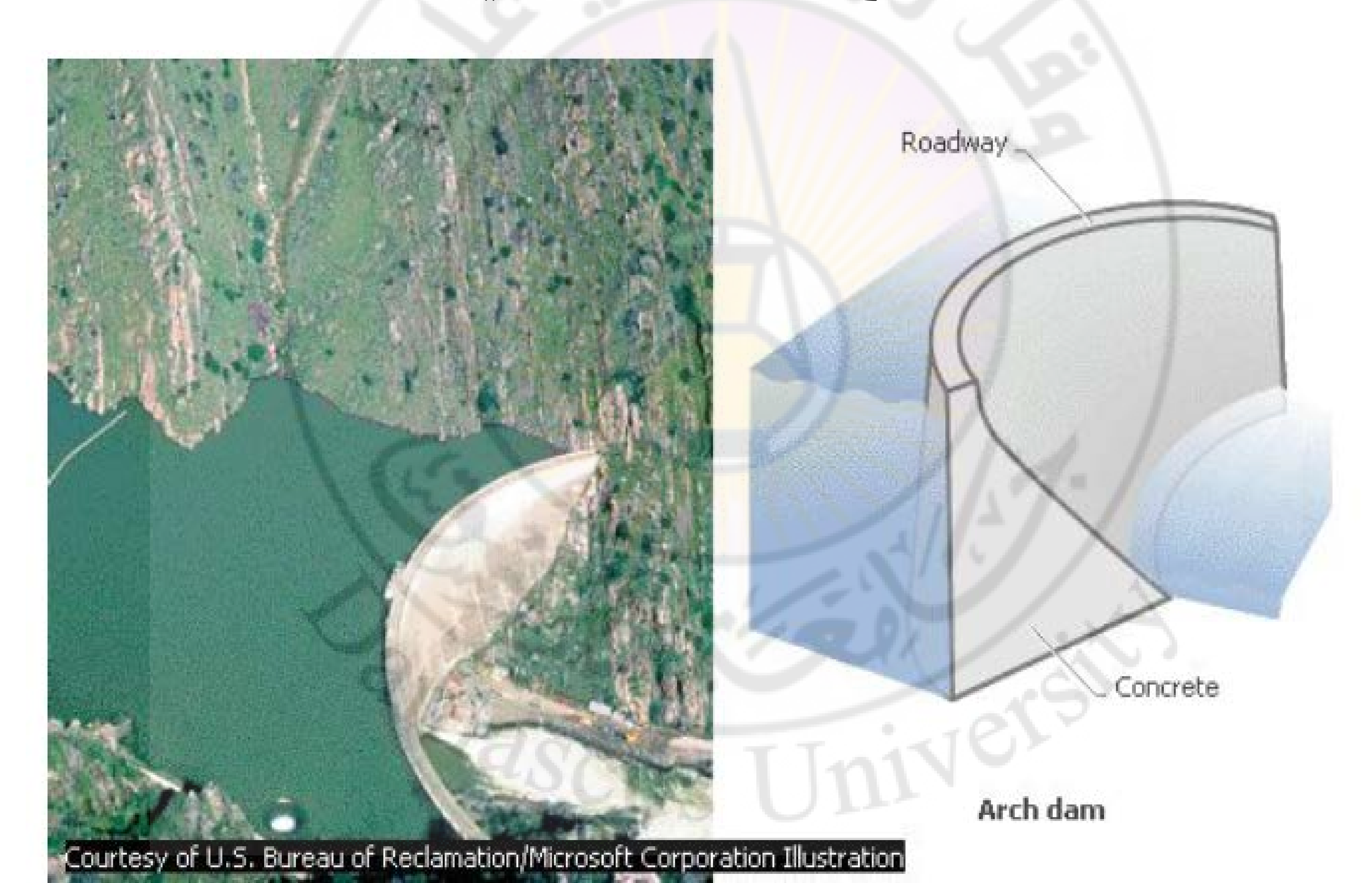


صورة سد بنصف قطر ثابت

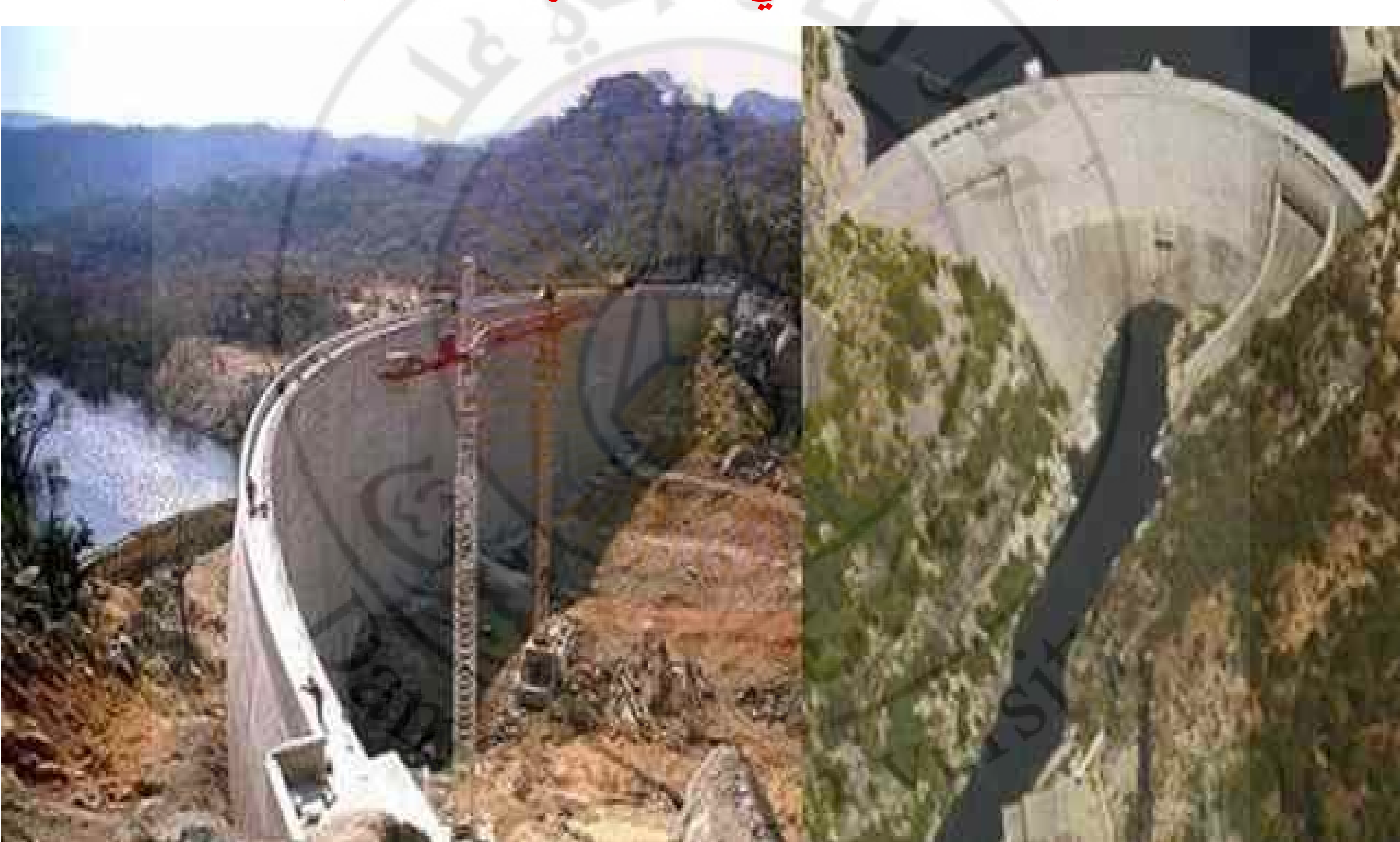


Idduki Dam, across Periyar River in Kerala state

الوجه الامامي شاقولي لسد قوسي بنصف قطر ثابت- المقطع يشبه السد الثقلي



صورة تبين سد قوسي بعد انتهاء التنفيذ مباشرة



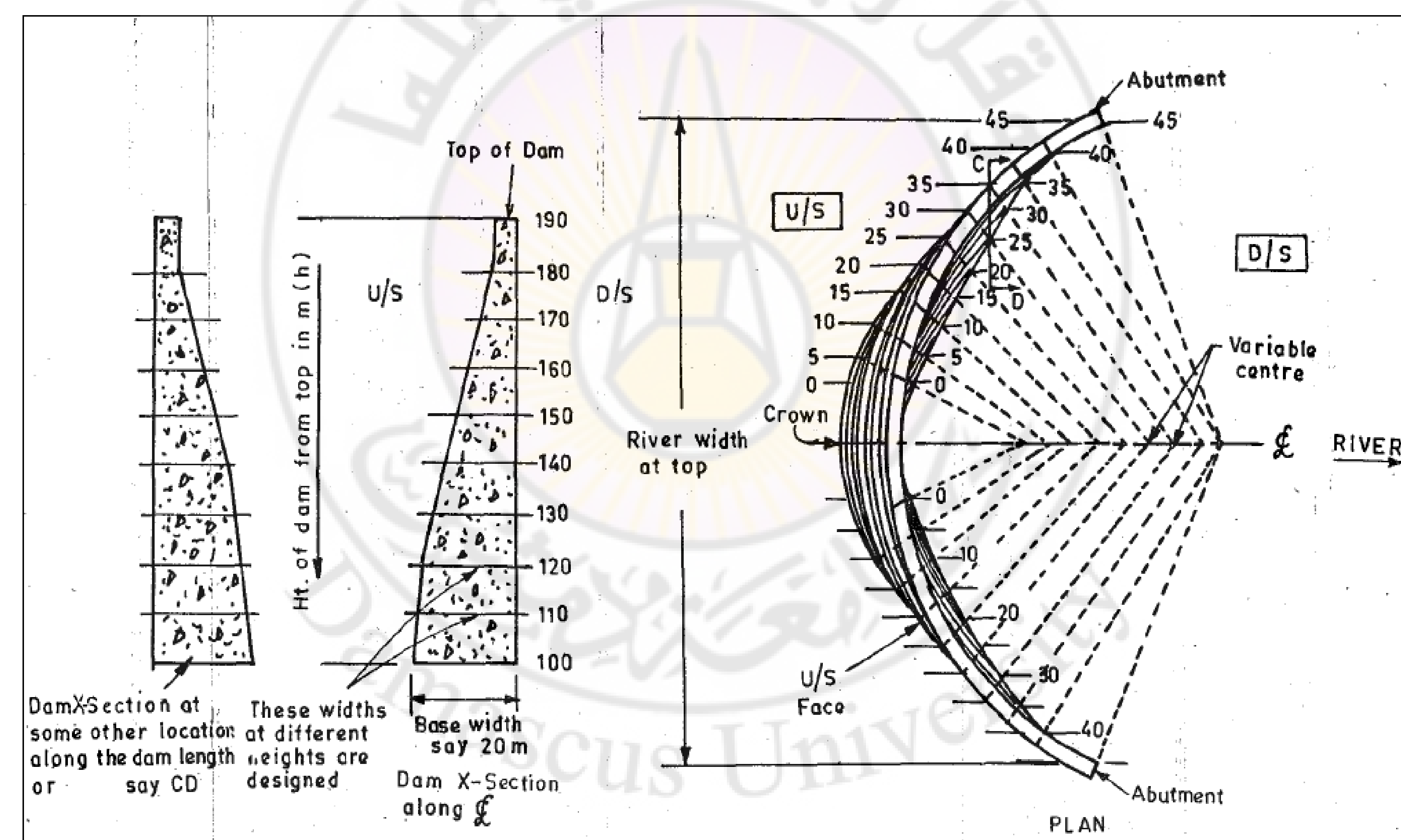
سد قوسي بنصف قطر متغير

Variable radius arch dam

- لهذا النوع من السدود فان انصاف الاقطار للمنحنيات الخارجية (المنطبقة مع السطح الملامس للماء U/S) والداخلية (المنطبقة مع السطح الملامس للهواء D/S)تختلف عن بعضها عند المناسيب المختلفة ،تكون انصاف الأقطار العظمى عند القمة والصغرى عند القاع (الأسفل).
- في التصميم النموذجي لهذا النوع فان الوجه الخلفي (D/S)عند خط المحور (Crown) يكون شاقوليا ، بينما في جميع المواقع الاخرى يوجد تناوب لكلا الوجهين ما عدا الأكتاف حيث يصبح الجانب الامامي شاقوليا
- مراكز الاقواس لهذا النوع لا تقع على نفس الشاقول،لذلك يسمى احيانا بالسد القوسي ذي المركز المتغير
- يفضل هذا النوع للوديان بشكل حرف V

سد قوسي بنصف قطر متغير-مسقط ومقطع

Variable radius arch dam



سد قوسي بزاوية ثابتة

Constant angle arch dam

لهذا النوع تكون الزاوية المركزية ثابتة عند كل المستويات

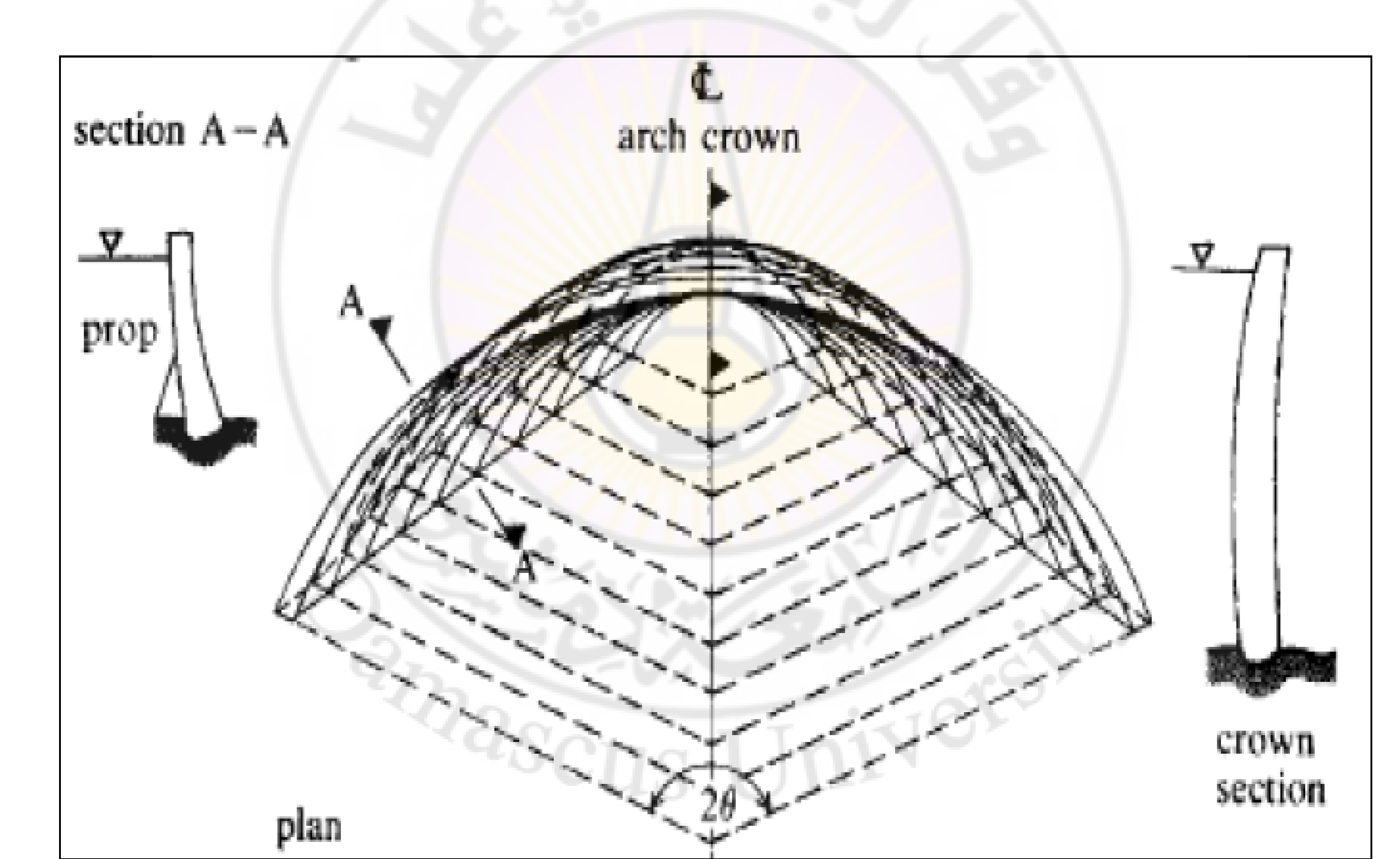
يحصل المقطع الأكثر اقتصادية عندما تكون الزاوية ثابتة عند كل المستويات ومساوية ل $2\Theta= 133^{o}\ 34'$

للسد القوسي بزاوية مركزية ثابتة يقود الى تشكل بطن أو مايسمى تدلي تحته فراغ بالنسبة للوجه الأمامي يمكن ان يؤدي الى حالة عدم استقرار في وضع التنفيذ للسد أو لحالة الخزان الفارغ لهذا من الضروري تزويد الجانب الامامي (الجانب المائي) بدعامة كما موضح على الشكل

هذا النوع يناسب الوديان الضيقة ذات الميول الشديدة والمتناظرة نسبيا والمشكلة لحرف V

سد قوسي بزاوية ثابتة-مسقط ومقطع

Constant angle arch dam



القوى المؤثرة على السدود القوسية

Forces Acting on Arch Dams

- عموما فان القوى المؤثرة على السدود القوسية هي ذاتها المؤثرة على السدود الثقلية.وهذه القوى هي :
- قوى الضغط المائي
- قوى الرفع المائي
- القوى الزلزالية
- ضغط الطمي
- ضغط الأمواج
- ضغط الجليد ..... الخ
- ان الاهمية النسبية للقوى تختلف في السدود القوسية عنها في الثقلية.

فمثلا قوى الرفع اللمائي في السدود القوسية تعتبر صغيرة وعموما يمكن اهمالها بسبب صغر السطح المعرض لها

- بينما فان الاجهادات التي يسببها الجليد والتغيرات الحرارية وردود الافعال تصبح مهمة تماما ويجب تقديرها بعناية

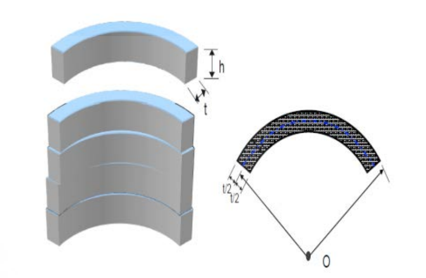
تصميم السدود القوسية

Arch dam analysis

- ان مفهوم تحليل استقرار السد القوسي على الانقلاب والانزلاق كما في السدود الثقلية له علاقة أوصلة قليلة بالسدود القوسية.
- يشكل السد القوسي بنية انشائية مستقرة بشرط ضمان سلامة وصلادة الاساس والأكتاف للوادي .
- لذا يحصل انهيار أو فشل السد القوسي كنتيجة لزيادة الاجهادات (overstress).
- لذلك فان تصميم السد القوسي يعتمد بشكل كبير على تحليل الاجهادات وعلى تحديد الأبعاد الهندسية له التي تجنب تشكيل اجهادات شد محلية أو اجهادات ضغط مركزة ذات قيم عالية .
- يمكن تصميم السدود القوسية بعدة طرق سنستعرض منها طريقة نظرية الاسطوانة الرقيقة(Thin Cylinder Theory)

نظرية الاسطوانة الرقيقة

Thin Cylinder Theory



- ان وزن الماء ووزن البيتون ينتقل مباشرة الى الاساسات،أما الحمل الافقي (الضغوط الافقية للماء والطمي)فانه ينتقل بالفعل القوسي.
- العناصر القوسية الافقية المنفصلة (عند عمق Z_1 تحت سطح الماء)يفرض ان كلا منها يشكل جزءا من حلقة كاملة معرض الى ضغط مائي خارجي قطري منتظم P_w

$$P_w = 2\,\gamma_w\, Z_1 R_u \sin\theta$$

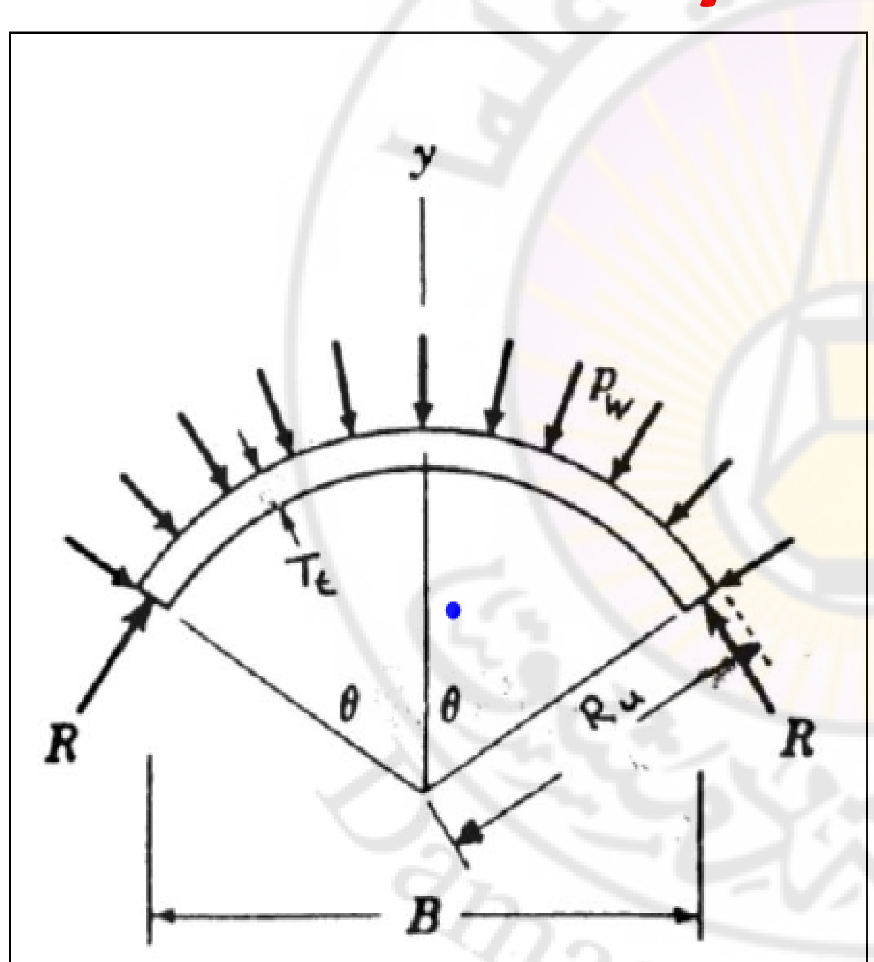
- هذه القوة تتوازن تقريبا مع رد الفعل من جوانب الوادي (باتجاه بحيرة السد) أو الاساسات=2R sin Θ
-

$$2\,R\ \sin\theta = 2\,\gamma_w\, Z_1 R_u \sin\theta$$

$$R = \gamma_w\, Z_1 R_u$$

نظرية الاسطوانة الرقيقة

Thin Cylinder Theory



- اذا كانت السماكة للحلقة (Tt) صغيرة مقارنة مع نصف القطر الخارجي للحلقة (Ru) فان اجهاد الضغط الأفقي

$$\sigma_h \cong R/T_t$$

- ومنه نجد :

$$T_t = \frac{\gamma_w Z_1 R_u}{\sigma_h}$$

- σh- اجهاد الضغط المسموح
- بهذا فان اجهادات الضغط تتزايد باتجاه الأسفل خطيا
- عموما فان الزاوية المركزية تكون بين ١٠٠ و ١٥٠ درجة وعرض القاعدة للسد :H(0.1-0.5)

نظرية الاسطوانة الرقيقة

Thin Cylinder Theory

- يمكن التعبير عن Tt بدلالة Rd (نصف القطر الداخلي للحلقة) كما يلي:

$$R_u = R_d + T_t$$

$$T_t = \gamma_w Z_1 (R_d + T_t)/\sigma_h$$

$$\sigma_h T_t - \gamma_w Z_1 T_t = \gamma_w Z_1 R_d$$

$$T_t = \frac{\gamma_w Z_1 R_d}{\sigma_h - \gamma_w Z_1}$$

الزاوية المركزية التي تعطي حجم البيتون الادنى

Central angle for minimum concrete.

- ان حجم البيتون لحلقة واحدة عبر الوادي ذي العرض Bهو:

$$V = R_u \, A \, 2\,\theta = 2\,\theta \, R_u T_t$$

$$T_t = \frac{\gamma_w Z_1 R_u}{\sigma_h}$$

$$T_t \propto R_u$$

$$R_u = \frac{B/_2}{\sin\theta}$$

$$V = 2\theta \, \frac{B}{2} \, \frac{1}{\sin\theta} \, \frac{\gamma_w Z_1}{\sigma_h} \, \frac{B}{2} \, \frac{1}{\sin\theta}$$

الزاوية المركزية التي تعطي حجم البيتون الادنى

Central angle for minimum concrete

$$V = \frac{\gamma_w Z_1 B^2}{2\sigma_h} \frac{\theta}{\sin^2 \theta}$$

$$\frac{dV}{d\theta} = 0$$

$$0 = \frac{sin^2\theta - 2\theta \sin\theta \cos\theta}{sin^4\theta}$$

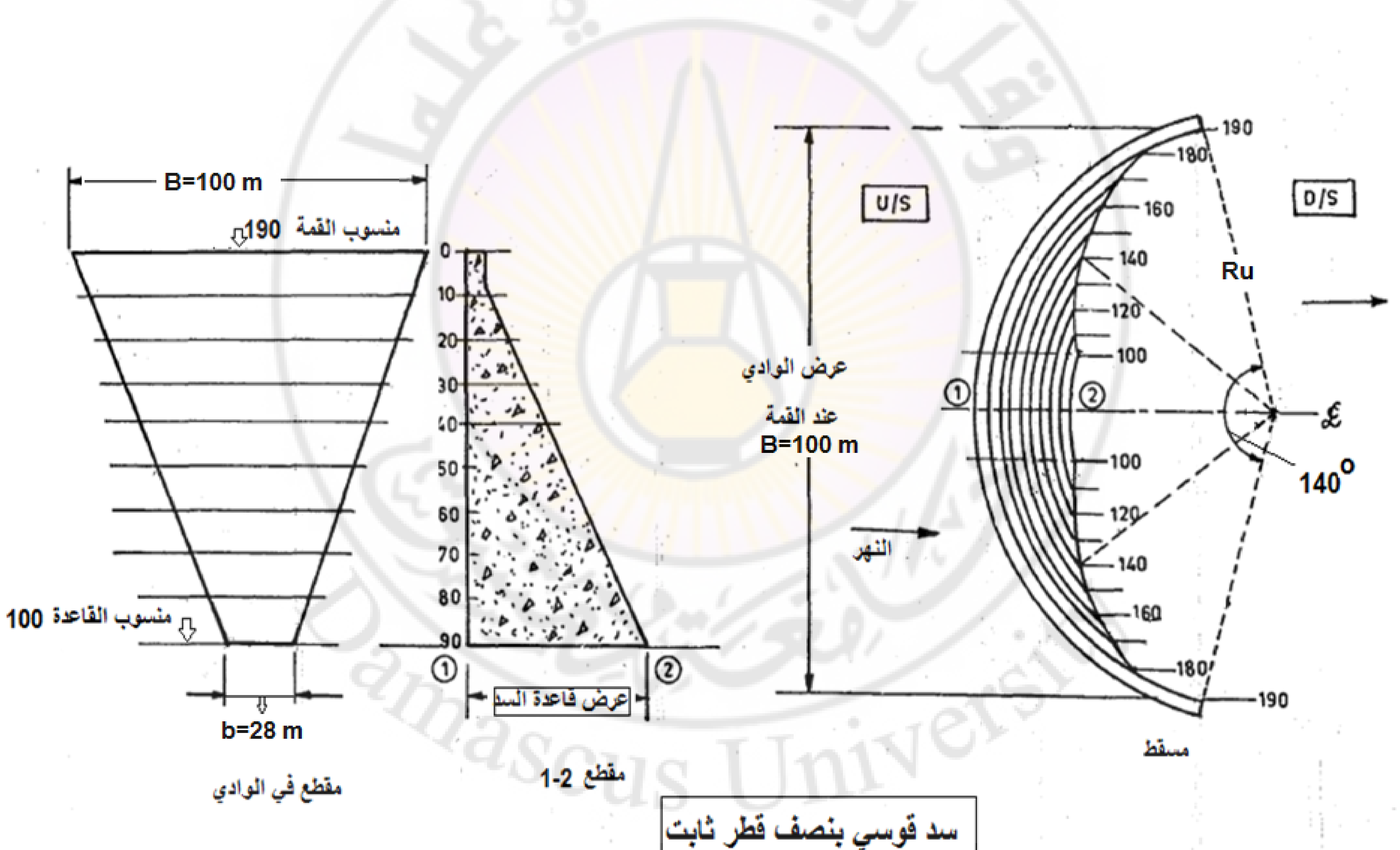
$$\tan\theta = 2\theta$$

$$2\theta = 133^\circ\ 34'$$

مثال: تصميم سد قوسي بنصف قطر ثابت

- في مقطع الوادي الموضح يطلب تصميم سد قوسي بنصف قطر ثابت (حدد سماكة السد عند كل 10 m من ارتفاعه) عرض الوادي عند القمة (B=100 m) وعند منسوب القاعدة (b=28 m) ،عرض الودي يتغير خطيا مع العمق .ارتفاع السد 90 m والسماكة عند القمة 1.0m ،إجهاد الخرسانة المسموح $4MN/m^2$.الزاوية الموافقة لمنسوب قمة السد $2\theta=140^o$ ، $\gamma w=10KN/m^3$

مثال: تصميم سد قوسي بنصف قطر ثابت



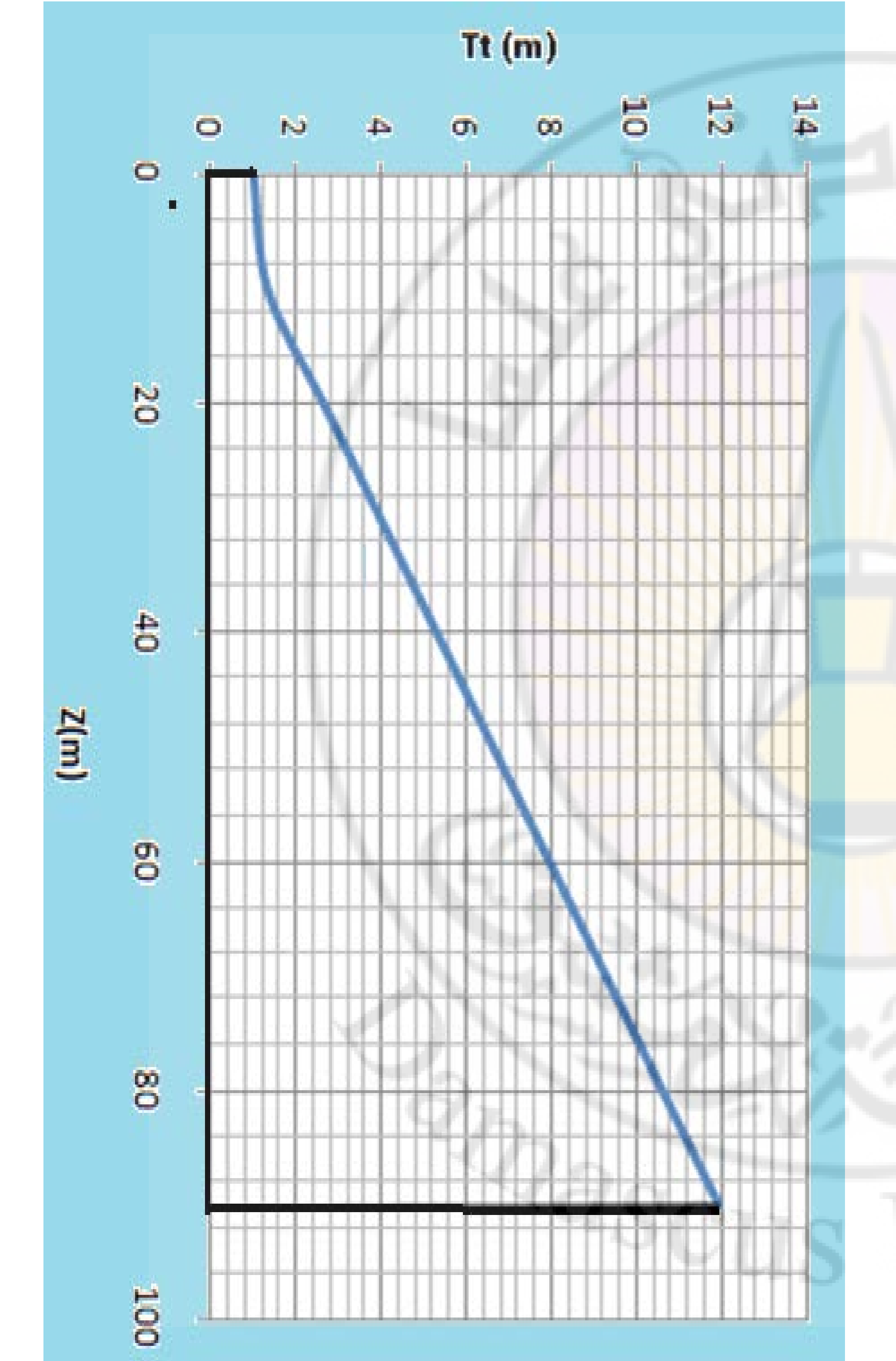
سد قوسي بنصف قطر ثابت

الحل

- ١- تحديد العرض للوادي عند الأعماق المختلفة(n عدد فروق الارتفاعات):
- $B_h=28+((100-28)/9)*n$
- ٢-حساب نصف القطر عند منسوب القمة
- $Ru=(B/2)/\sin\theta$
- $=(100/2)/\sin 70=53.23$ m
  - الزاوية θ والسماكة يحددان بالعلاقات التالية :

$$T_t = \frac{\gamma_w z_1 R_u}{\sigma_h} \quad , \quad \theta = \sin^{-1}\left(\frac{B/2}{R_u}\right)$$

Z (m)	B(m)	Ru	P=γw*Zl (kN/m^2)	Tt(m)	Rd=Ru-Tt	e	2e
0	100	53.23	0	1.00	52.23	70.00	140.00
10	92	53.23	100	1.33	51.90	60.00	120.00
20	84	53.23	200	2.66	50.57	52.10	104.20
30	76	53.23	300	3.99	49.24	45.50	91.00
40	68	53.23	400	5.32	47.91	39.70	79.40
50	60	53.23	500	6.65	46.58	34.30	68.60
60	52	53.23	600	7.98	45.25	29.20	58.40
70	44	53.23	700	9.32	43.91	24.40	48.80
80	36	53.23	800	10.65	42.58	19.80	39.60
90	28	53.23	900	11.98	41.25	15.25	30.50



- الشكل يبين المقع العرضي للسد

تصميم المقطع العرضي للسد

Design of Dam Cross Section

مقدمة:

يشمل تصميم المقطع العرضي لسد ركامي ما يلي :

1- تحديد ارتفاع السد والذي يتعلق ب:

1-1- الحجم الميت

1-2- الحجم التشغيلي

1-3 - حجم درء الفيضان

1-4- الارتفاع الحر

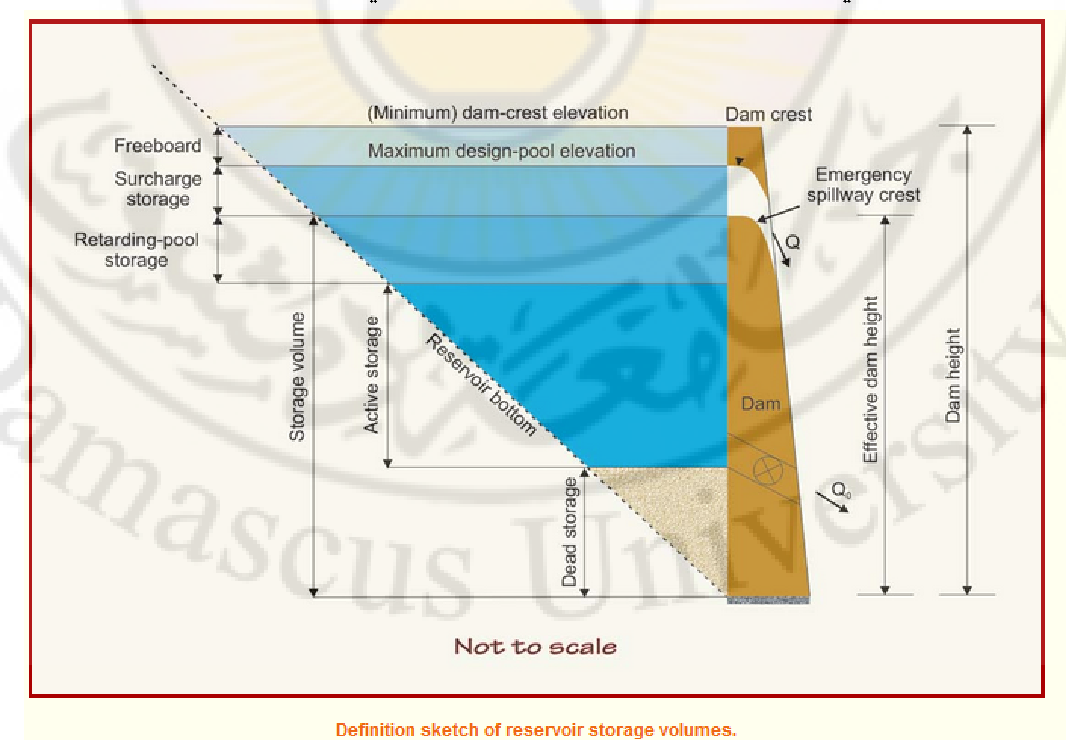
2-تحديد عرض قمة السد

3-تحديد ميول السد الجانبية واسلوب حمايتها

4-الفلاتر والتحكم بمياه الرشح

1-تحديد ارتفاع السد

لتحديد ارتفاع السد لا بد من حساب مكونات خزان السد وتحديد كل جزء منه وبالتالي الارتفاع المقابل، الشكل (1) يبين الحجوم المختلفة المشكلة لحجم بحيرة التخزين أو خزان السد والتي تحدد المناسيب المختلفة للبحيرة وبالتالي الارتفاعات المختلفة.

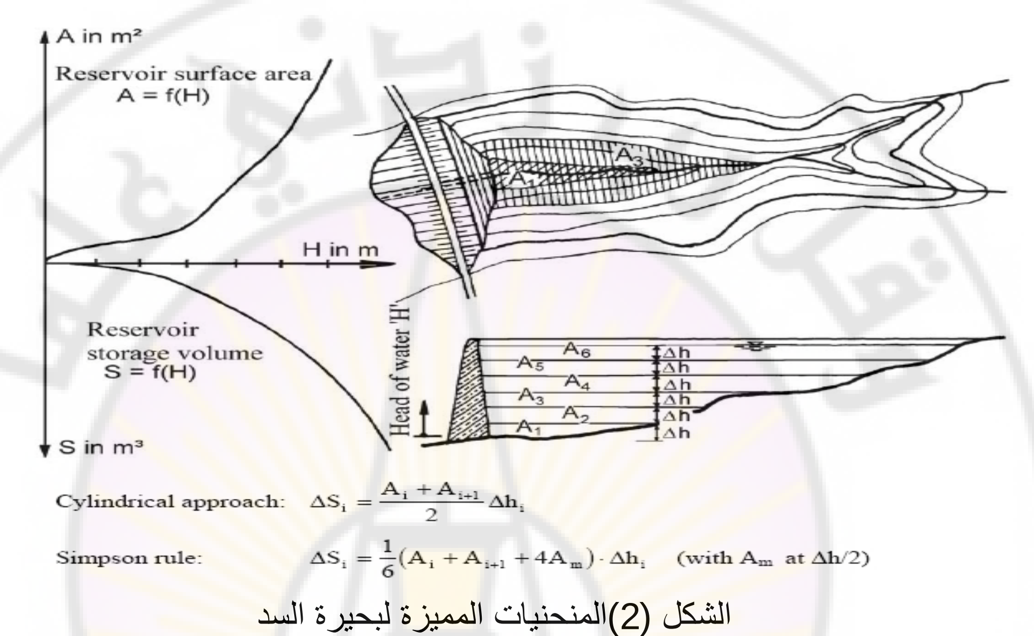


Definition sketch of reservoir storage volumes.

الشكل (1) يبين الحجوم المختلفة المشكلة حجم بحيرة التخزين

المنحنيات المميزة لبحيرة السد:

للربط بين حجوم التخزين والارتفاعات لابد من رسم المنحنيات المميزة لبحيرة السد والتي توضح العلاقة بين منسوب التخزين وحجم التخزين ، ولهذا الغرض لابد من توفر خارطة طبوغرافية لبحيرة السد بمقياس مناسب (1000/1 مثلا)، انظر الشكل (2).



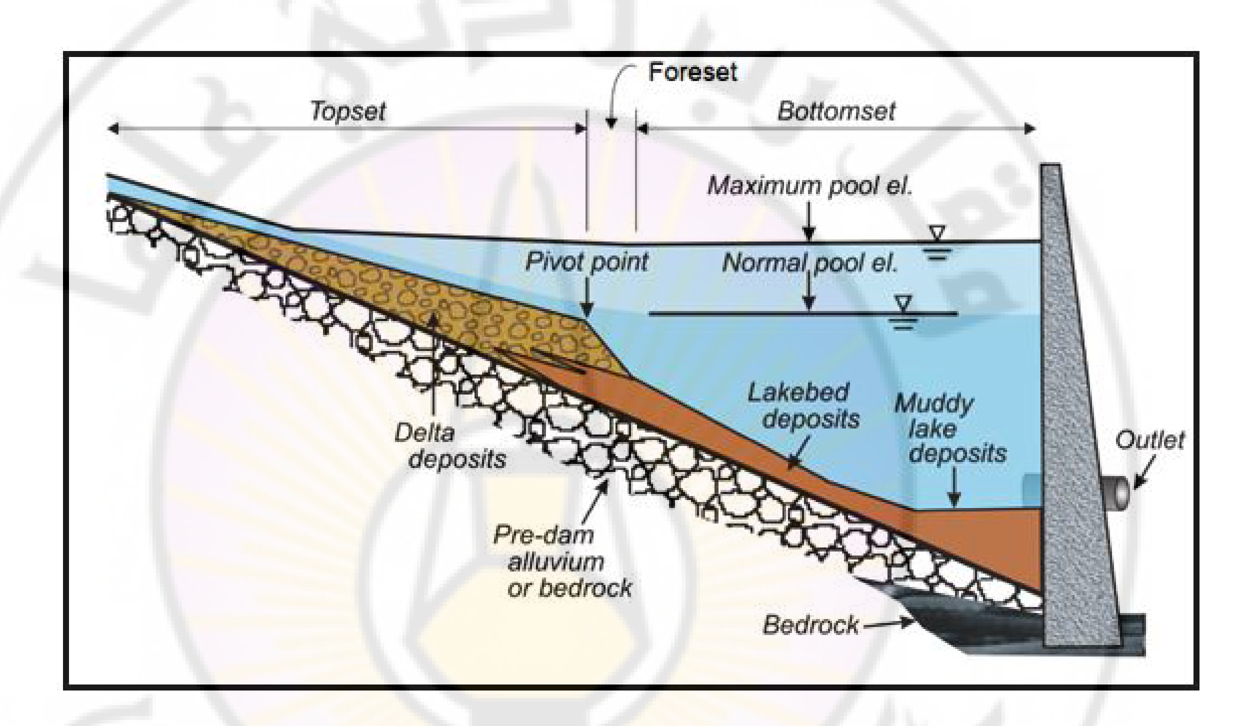
الشكل (2)المنحنيات المميزة لبحيرة السد



الشكل (3) صورة توضح بعض المصطلحات الخاصة بجسم السد

1-1 - الحجم الميت

يخصص جزء من بحيرة السد لاستيعاب الطمي والرسوبيات التي تنتقل من الحوض الصباب وتتوضع في بحيرة السد.يحسب هذا الحجم من خلال قياسات للطمي على المجري المائي وتحديد تركيز الطمي في واحدة حجوم الجريان (م ^{3}) ومن ثم حساب حجم الطمي .وهذا الحجم لا يمكن استخدام المياه المخزنة فيه وهو يحدد منسوب منشأة السحب للاستثمار من السد.



.الشكل (4).مثال لمقطع طولي للترسيب في بحيرة سد

مثال:

يطلب تحديد الحجم الميت في بحيرة سد اذا علمت كمية الوراد المائي السنوي الوسطي المساوية 384647 م3/سنة ،وكان تركيز الرواسب 1.5 كغ/م 3 ، الوزن الحجمي المغمور للرواسب بحدود (1-1.2) طن/م3

الحل:

كمية الرواسب= 1.5*384647/1000 =576.97 طن/سنة

فاذا افترضنا ان الوزن الحجمي المغمور لهذه المواد هو بحدود(1−1.2)طن/متر مكعب يكون حجم المواد المنقولة سنويا:

الحجم =576.97/1.2=480.8 م3

وفي خمسين سنة يكون :

الحجم =50*480.8=24040 م3

يمكن اعتماد حجم الجريان الصلب (كمية الرواسب أو الحجم الميت) 24040م ^{3}

بمعرفة المنحني المميز للبحيرة نحدد ما يسمى منسوب التخزين الميت والذي بدوره يحدد منسوب المفرغ السفلي للسد. المخزون المائي تحت هذا المنسوب لا يمكن استخدامه ولا استجراره.

<u>1-2- الحجم التشغيلي</u>

وهو الحجم الذي يستخدم للأغراض المختلفة التي انشأ السد من اجلها ويرتبط بحجم الوارد المائي والغرض من السد وكذلك الحجم الذي يشكله بناء السد.وغالبا يحدد هذا الجزء اعتمادا على الوارد المائي (الشهري أو السنوي) بشرط إن تسمح الطبوغرافيا بذلك.
يتم تحديد هذا الحجم إذا علمت التصاريف الشهرية الواردة إلى موقع السد باستخدام الطرق الموضحة سابقا مثل <u>طريقة المنحني التجميعي وطريقة القمم المتتالية.</u>
وفي حال عدم توفر قياسات التصاريف الشهرية للمجرى المائي في موقع السد يتم اللجوء إلى قياسات الهطول السنوية ، وبتحديد معامل الجريان يتم تقدير الوارد السنوي الناتج عن الهطول(في حال عدم وجود تصريف غير مباشر مرتبط بالمياه الجوفية، ذوبان الثلوج ...الخ) إلى موقع السد
ويحسب الوارد السنوي W بالعلاقة التالية:

$$W=P.A.C .10^3$$

حيث:

P -الهطول المطري السنوي (مم) ،
A - مساحة الحوض الصباب (كم2)
C -معامل الجريان (%)

<u>مثال:</u>

١ -الجدول التالي يبين قيم الهطولات السنوية فوق حوض صباب مساحته 15,625 كم2 باحتمالات مختلفة (حسبت باستخدام تابع التوزيع الطبيعي)، المطلوب تحديد الحجم التشغيلي والحجم الميت لسد سيقام عند مخرج الحوض .

احتمال التجاوز %	1	5	10	25	50	75	95	
الهطول السنوي مم	500,8	451,2	423,9	375	318,8	255	165,4	

٢ -ارسم المنحنيات المميزة لبحيرة السد الموافقة للجدول التالي واستنتج المناسيب المختلفة :

المنسوب m	1245	1250	1252.5	1255	1260	1265	1267.5	1268.5
حجم التخزين $V*10^6$ m^3	0.02	0.05	0.1	0.2	0.45	0.74	0.93	1.15

الحل:

١ -لتحديد حجم التشغيل لسد صغير نحسب حجم الوارد السنوي الى بحيرة السد من مياه المطر باحتمال 50% (كل سنتين يعبأ الخزان مرة واحدة)، وبفرض معامل جريان C=0.2 نجد:

$$W=P_{50\%}.A.C=318.8*0.2*15.625*10^3=10^6 \quad m^3$$

ملاحظة: يتم حسم 10% من حجم التشغيل المحسوب لأخذ التبخر بالاعتبار أي الحجم التشغيلي $0.9*10^6$ م3

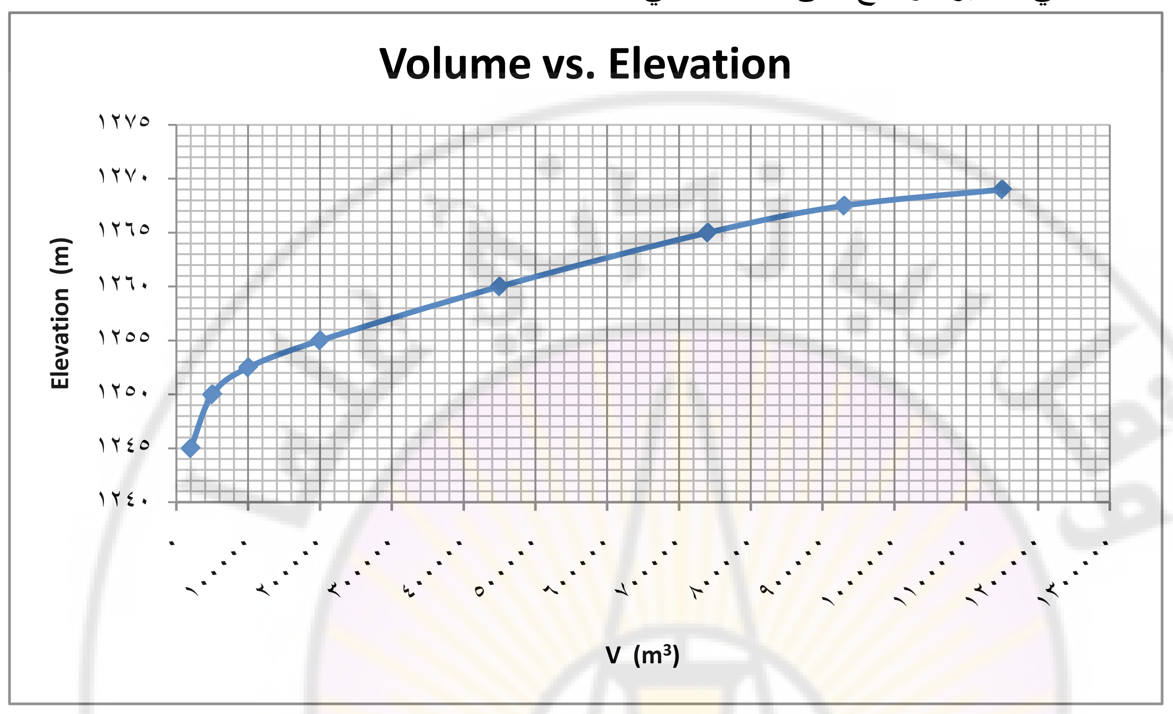
٢ -لتحديد الحجم الميت V وبفرض الوزن الحجمي للطمي $\rho=1.2\ t/m^3$ نحسب حجم الرسوبيات السنوية كما يلي:

$$V_{1\ year}=W*\alpha/\rho=10^6*1.5/1.2*1000=1250 \quad m^3$$

حيث α تركيز المواد الصلبة في المياه الوارد الى السد وتساوي $1.5\ kg/m^3$، وخلال عمر تصميمي افتراضي 50 سنة يتجمع حجم من الرسوبيات مقداره :

$$V_{50\ year}=V_{1\ year}*50=1250*50=62500\ m^3$$

بمعرفة حجوم التخزين أعلاه نحدد المناسيب الموافقة لها من المنحنيات المميزة لبحيرة السد
2- المنحني المميز موضح على الشكل التالي:



الشكل (5) المنحني المميز لبحيرة السد

من المنحني نرى أن منسوب التخزين الميت هو1251.5م تقريبا أما منسوب التخزين التشغيلي1268.5م تقريبا.

3-1 حجم درء الفيضان

هو الحجم من البحيرة والمخصص لدرء الفيضان والحماية منه ويمكن أن يكون هو فقط الحجم المحصور بين منسوب قمة المفيض (الموافق للتخزين الأعظم بحال عدم وجود بوابات لمفيض السد-surcharge storage) وارتفاع الماء الموافق لتصريف الفيضان التصميمي(Maximum design pool- elevation)، أو يخصص جزء من حجم البحيرة لاستيعاب موجة الفيضان التصميمي أو تأخيرها(يسمى Retarding storage) بالإضافة للحجم بين منسوب قمة المفيض الى منسوب الماء الموافق للتصريف التصميمي(surcharge storage).

لإجراء الحسابات للحالتين يجب توفر المنحنيات المميزة للسد (علاقة المساحة مع المنسوب وعلاقة الحجم مع المنسوب) بالإضافة إلى منحني التصريف الداخل إلى بحيرة التخزين ومنحني التصريف للمفيض مع الارتفاع وباستخدام معادلة التخزين التالية:

$$I-O=\Delta S/\Delta t$$

هنا I-التصريف الداخل إلى بحيرة السد (م3/ثا) و O - التصريف الخارج عبر المفيض ب (م3/ثا) (إذا كان منسوب الماء اعلي من منسوب قمة المفيض) ويؤخذ من معادلة تصريف هدار ذات الشكل العام التالي:

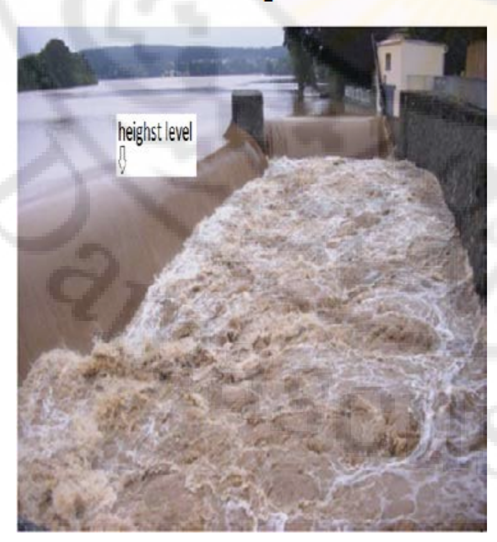
$$O=Cd.L.(2g)^{0.5}.H^{3/2}\ m^3/s$$

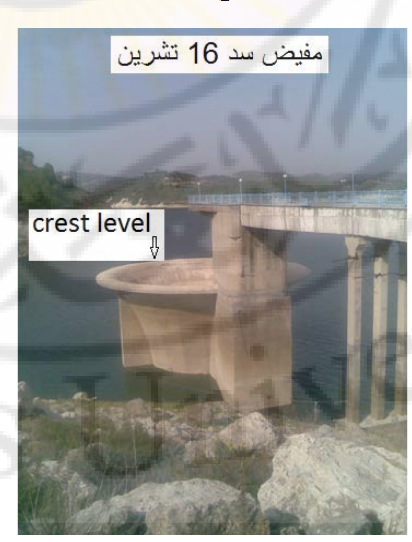
هنا H قيمة الضاغط المائي فوق منسوب قمة المفيض و Cd معامل التصريف (%)وΔS تغير حجم البحيرة (م3)و Δt الفترة الزمنية الحسابية (ثا) ،و L طول المفيض (م).
عادة فان قيمة التصريف الأعظم الخارج من المفيض تكون قيمته أقل من قيمة التصريف الأعظم الوارد إلى بحيرة السد ،وهذا يسمى تسطح الأمواج الفيضانية.

1-4- الارتفاع الحر

جميع السدود يجب أن تحتوي مسافة إضافية شاقولية كافية بين منسوب قمة السد ومنسوب الماء في البحيرة او الخزان.تسمى هذه المسافة الشاقولية بالارتفاع (Freeboard) وهي مخصصة لكي لا يحصل فيضان الماء فوق قمة السد بسبب فعل الامواج (تسلق الأمواج – نهوض سطح ماء البحيرة بسبب تأثير الرياح)و الزلازل وهبوطات السد والأساس .
وهنا نميز بين الارتفاع الحر العادي (Normal Freeboard) وهو يقاس بالنسبة لمنسوب الماء في حالة البحيرة مملوءة (حتى منسوب قمة المفيض أو منسوب التخزين العادي اذا كان جزء من حجم البحيرة يستخدم لدرء الفيضان)بينما الارتفاع الحر الأدنى (Minimum Freboard)وهو يقاس بالنسبة إلى منسوب الماء الاعظمي في البحيرة (الناتج عن تأثير موجة الفيضان التصميمية)،الشكل (6).
إن الارتفاع الحر المحسوب بعناية يعتبر الضمانة الأفضل لحماية السد من الانهيار بسبب فيضان الماء فوق القمة.

Freeboard computation
heighst level=crest level+flood height



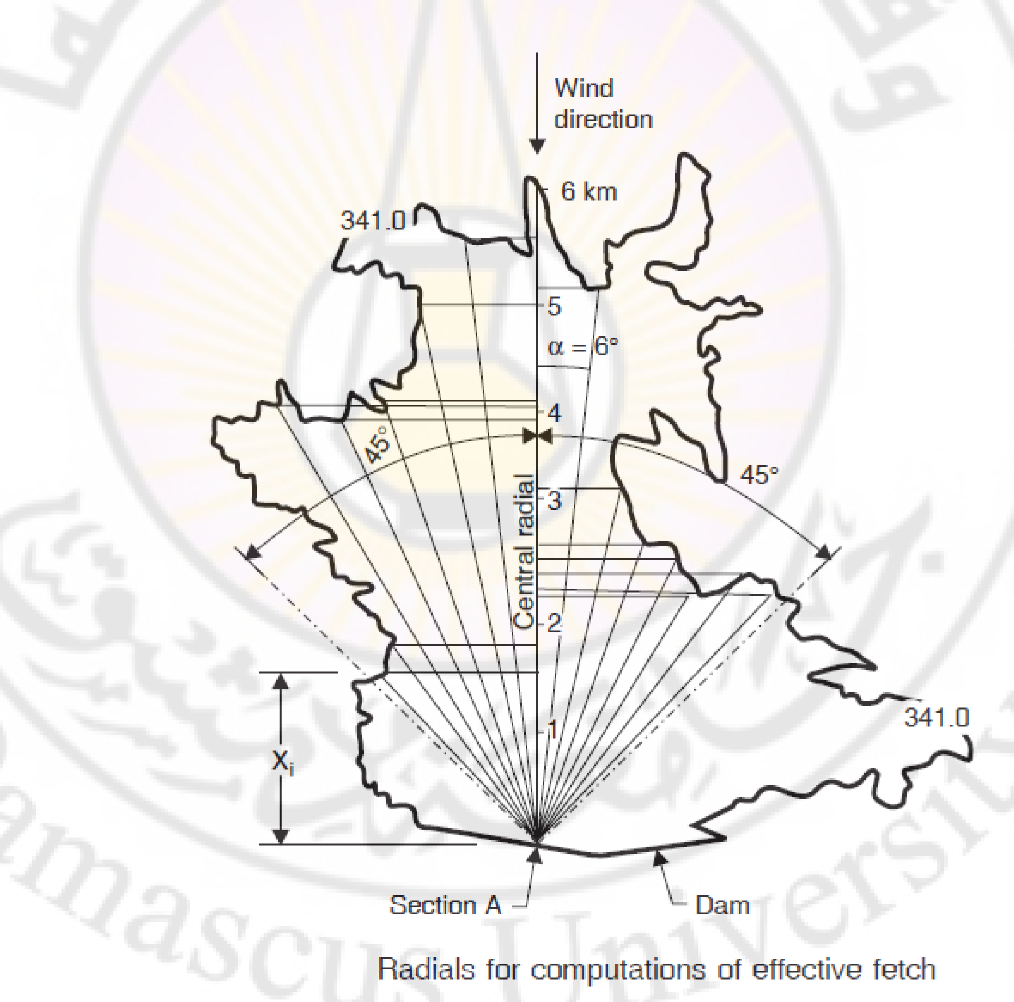


الشكل(6) يوضح منسوب قمة المفيض ومنسوب الفيضان

أفضل أسلوب لإدخال فعل الأمواج في حسابات الارتفاع الحر هو عن طريق ارتفاع الموجة وطول الموجة وكلاهما يعتمد على طول التماس بين الرياح وسطح البحيرة (Fetch) وسرعة الرياح . يعرف طول التماس بأنه المسافة المستقيمة العظمى مقاسة عند سطح الماء الذي تهب عليه الرياح من محور السد الحدود البحيرة.طول التماس الفعال هو قيمة موزونة وسطية تقع ضمن قطاع زاوي 45 درجة على طرفي طول تماس مأخوذ بالنسبة الى نقطة محددة اختيارية من محور السد ،بفرض أن الرياح ستكون غير فعالة خارج هذا القطاع .

يتم حساب طول التماس الفعال كما يلي:

-من نقطة ما اختيارية عند محور السد نرسم مستقيما باتجاه الريح (يسمى الشعاع المركزي Central Radial-) ونرسم على جانبيه مجموعة من الاشعة (15) بين كل شعاعين 6 درجات كما هو موضح بالشكل (7).



الشكل (7) حساب طول التماس الفعال

يجب الملاحظة هنا انه بعد تشكل بحيرة التخزين فان تضاريس الوادي ربما تقود الرياح باتجاه السد ،بهذا فان اتجاه الرياح ربما من المفضل ان تفرض على طول التماس الاكبر.

- 2- يحسب طول التماس الفعال (fe) بالعلاقة التالية :

$$f_e = \frac{\sum R_i \cos \alpha_i}{\sum \cos \alpha_i}$$

حيث Ri طول الشعاع (i)حتى حدود البحيرة وα i زاوية الشعاع (i) مع الشعاع المركزي .

ملاحظة: يجب تكرار حساب طول التماس الفعال في نقطتين أوثلاث نقاط اختيارية من محور السد واختيار الأكبر بينهما في الحسابات التالية لارتفاع الموجة (Hs) وزمن الموجة (Ts) والتي تحسب من المعادلات التالية:

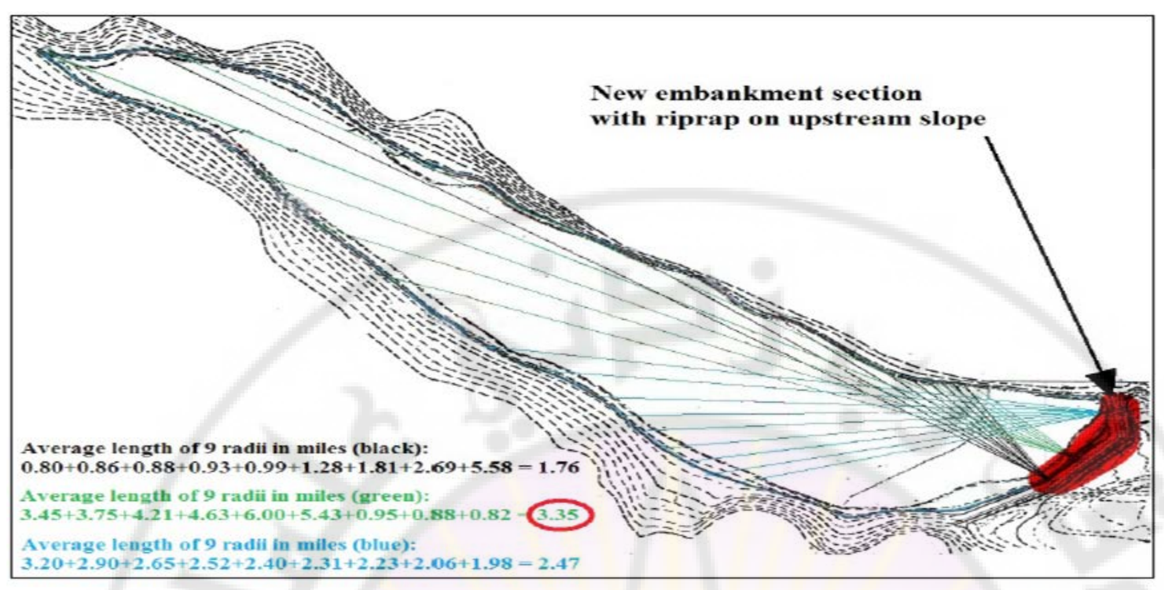
$$\frac{gH_s}{V^2} = 0.0026 \left[\frac{gf_e}{V^2}\right]^{0.47}$$

$$\frac{gT_s}{V} = 0.45 \left[\frac{gf_e}{V^2}\right]^{0.28}$$

ويحسب طول الموجة بالمتر من العلاقة التالية:

$$L_s = 1.56\, T_s^{\,2}$$

حيث: Hs and Ts ارتفاع الموجة بالمتر وزمن الموجة بالثانية وذلك للموجة المميزة و (g) تسارع الجاذبية الأرضية ، (V)سرعة الرياح ب (m/s) فوق السطح المائي و(fe) طول التماس بالمتر.



الشكل (8) تحديد طول التماس من ثلاث نقاط اختيارية واختيار الأكبر في الحسابات التالية

ان سرعة الرياح فوق الماء اعلى من سرعتها فوق اليابسة ، ان النسبة بين سرعة الرياح فوق السطح المائي الى سرعة الرياح فوق اليابسة تعطى بالجدول (1):

الجدول (1)

Ratio of the wind velocity over water surface to the wind velocity over land surface (7)

Effective fetch (km)	1	2	4	6	8	10 and above
The ratio	1.1	1.16	1.24	1.27	1.3	1.31

ملاحظة:لحساب الارتفاع الحر الادنى (مقاسا بالنسبة لمنسوب الماء الأعظم- minimum freeboard) تفرض سرعة الرياح نصف الى ثلثي سرعة الرياح المعتمدة لحساب الارتفاع الحر العادي(مقاس بالنسبة لمنسوب الماء بالبحيرة وهي مملوءة- normal freeboard).

ملاحظة :أيضا لحساب الارتفاع الحر العادي والارتفاع الحر الأدنى فان طول الموجة وارتفاع الموجة التصميمي (Ho) تؤخذ Ls و Ho=1.67 Hs على التوالي.

نهوض الامواج -S- (Wave set-up): عند هبوب الرياح فوق السطح المائي باتجاه السفح وبنتيجة ممارسة قوى السحب آو القص يحصل نهوض للسطح المائي وقيمة هذا

النهوض فوق سطح الماء الساكن تسمى نهوض الأمواج،وتحسب قيمة نهوض الامواج حسب علاقة Zuider Zee التالية:

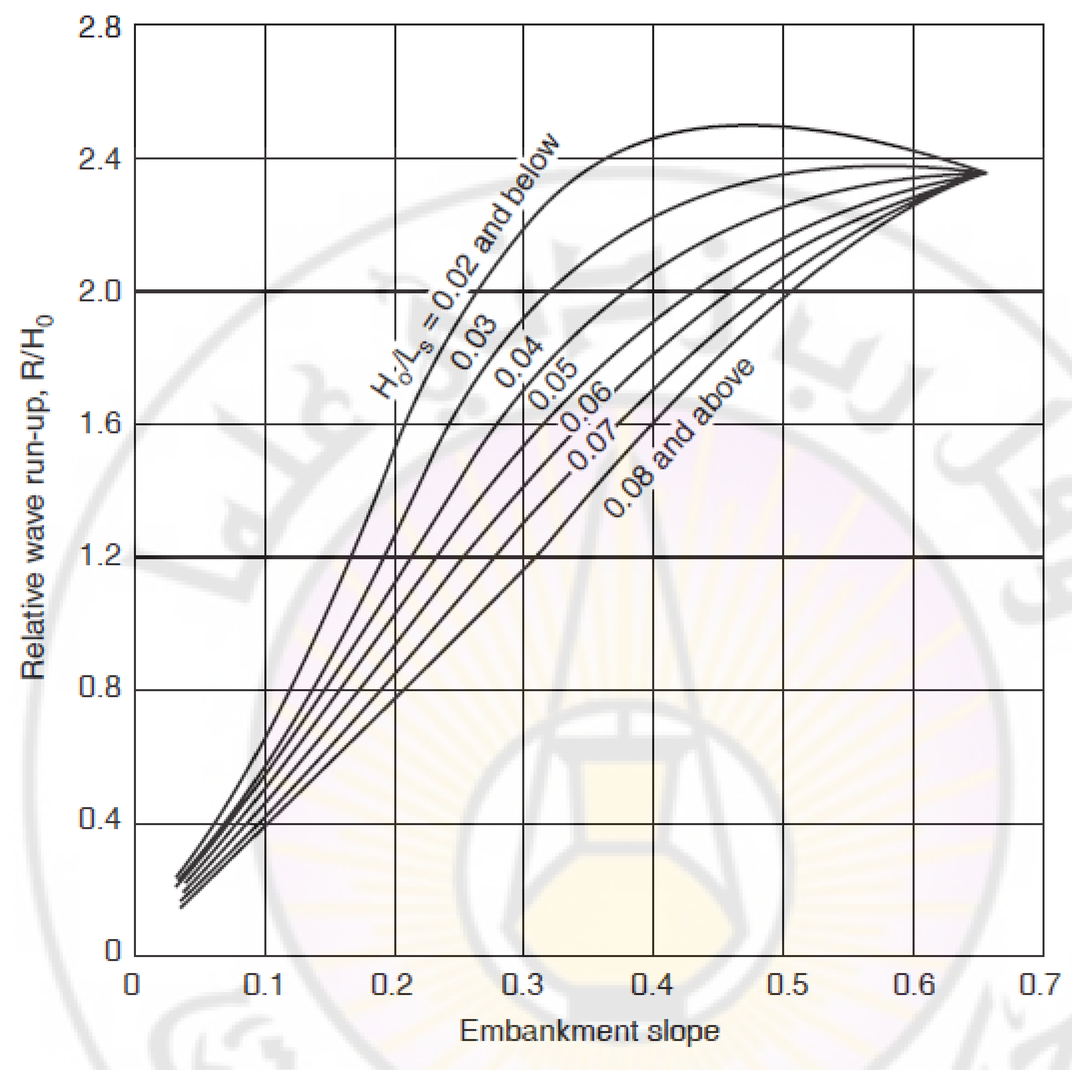
حيث:

$$S = \frac{V^2 F}{62{,}000 D}$$

V – سرعة الرياح فوق السطح المائي ب(km/hr) و F طول التماس بال(Km) و D العمق المتوسط على طول خط التماس الأعظم بالمتر وS بالمتر .

تسلق الامواج -R- (Wave Run-up): عند ارتطام الأمواج بالسفح الأمامي لسد فان الموجة تتسلق على السفح ويعتبر المسافة الشاقولية بين قمة الموجة ومنسوب الماء عند النهوض بتسلق الموجة .

تسلق الموجة R على سطح املس يمكن الحصول عليه من الشكل (9)بينما تسلق الموجة على سطح خشن سيكون أقل لهذا فالقيمة التي نحصل عليها من الشكل (9) يتم ضربها بمعامل أقل من الواحد نحصل عليه من الجدول (2).



Relative run-up of waves

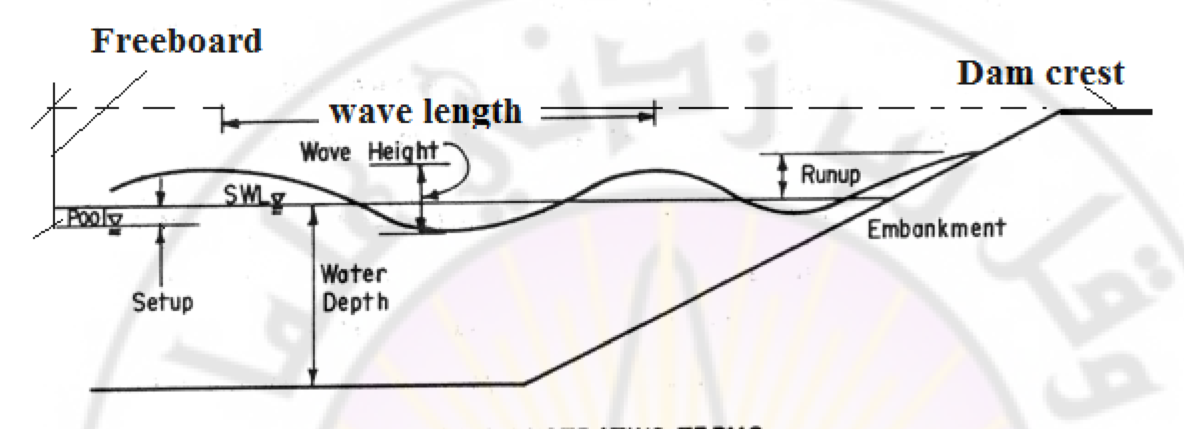
الشكل (9)تسلق الموجة النسبي (R/Ho) بالنسبة لميل السفح الامامي للسد

الجدول (2) معامل التصحيح للاخذ بالاعتبار خشونة السفح الامامي لحساب تسلق الموجة

Surface roughness correction factor for wave run-up

Type of pitching	*Recommended correction factor*
Cement concrete surface	1.00
Flexible brick pitching	0.80
Hand-placed riprap	
(*i*) laid flat	0.75
(*ii*) laid with projections	0.60
Dumped riprap	0.50

ملاحظة: إذا حصلنا على قيمة R أقل من ارتفاع الموجة التصميمي Ho عندها فان الارتفاع الحر يتبع أو يحكم بالارتفاع التصميمي للموجة Ho .



SKETCH ILLUSTRATING TERMS

الشكل (10) يبين عناصر الارتفاع الحر

الارتفاع الحر هو مجموع ارتفاع تسلق الأمواج+ارتفاع نهوض الأمواج+ارتفاع الهبوطات للسد والأساس+ارتفاع أمان إضافي (0.3-0.5 m)

- الارتفاع الحر بكل الأحوال يجب ألا يقل عن 2 م بالنسبة للسدود الترابية والركامية
- الآن يمكن الحصول على منسوب قمة السد بإضافة الارتفاع الحر العادي إلى منسوب التخزين عند امتلاء البحيرة أو الارتفاع الحر الأدنى إلى منسوب الماء الأعظم بالبحيرة واختيار المنسوب الأعلى.

يمكن حساب ارتفاع الأمواج بعدة معادلات أيضا نذكر منها (معادلات Molitor):

$$h_w = 0.032\sqrt{VF} + 0.76 - 0.27\,F^{1/4} \text{ for } F < 32 \text{ km}$$

$$h_w = 0.032\sqrt{VF} \text{ for } F > 32 \text{ km}$$

- hw-ارتفاع الموجة بالمتر
- F -طول التماس بالكم
- V – سرعة الرياح بالكلم بالساعة

تقدير الارتفاع الحر بالطرق التقريبية:

يمكن تقدير الارتفاع الحر بالمتر بالعلاقة التالية:

$$F=0.75\,.hw+V^2w/2g$$

$$Vw=1.5+2.hw$$

Vw- سرعة انتشار الامواج بالمتر بالثانية

hw- ارتفاع الامواج بالمتر

F-الارتفاع الحر بالمتر

معادلة ارزونا –الولايات المتحدة الامريكية :

$$H = 1.5\,(1.5d^{0.5} + 2.5 - d^{0.25})$$

حيث:

H-الارتفاع الحر بالقدم -

d- -المسافة بالاميال من محور السد إلى ابعد نقطة على شاطئ البحيرة مقاسا عند سطح الماء

لحماية قمة الطريق من تأثير الأمواج والرذاذ يمكن تزويد قمة السد الركامي بكاسر امواج كما هو موضح بالشكل



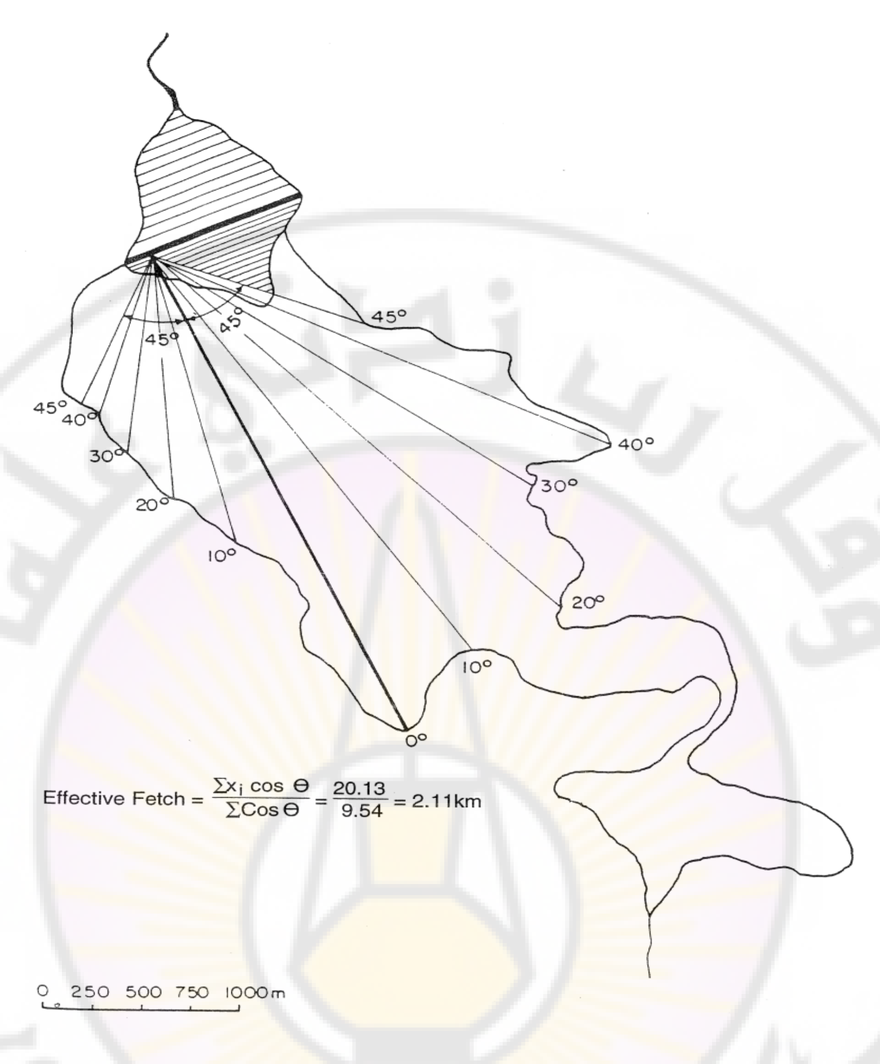
Figure F-1. Example 1: curved parapet wall, maximum protection against wave action

الشكل (11) كاسر امواج لمنع الرذاذ من الوصول لقمة السد

أمثلة:

للسد الموضح بالشكل (12) احسب طول التماس الفعال اذا علم لنقطة اختيارية أطوال الاشعة والزوايا

Cos αi	Ri (km)	Ri.cosαi (Km)
0.71	1	0.71
0.77	1	0.77
0.87	1.2	1.04
0.94	1.5	1.41
0.98	1.75	1.72
1.0	3.2	3.2
0.98	2.8	2.74
0.94	3	2.82
0.87	2.4	2.09
0.77	3.65	2.81
0.71	1.15	0.82
Σ9.54		Σ20.13



الشكل (12): حساب طول التماس الفعال

Fe=20.13/9.54=2.11 km

- عرض قمة السد

يعتمد العرض الأدنى لقمة السد على السماكة المطلوبة للنواة الكتيمة وعلى العرض الاضافي لمقاومة الجرف.لا توجد طريقة محددة قياسية لتحديد عرض القمة وسنعتمد على الطرق التجريبية التالية:

- معادلة Knappen:

$$b=1.65H^{0.5}\ m$$

H-ارتفاع السد بالمتر

- معادلة USBR :

$$b=H/3+10 \quad ft$$

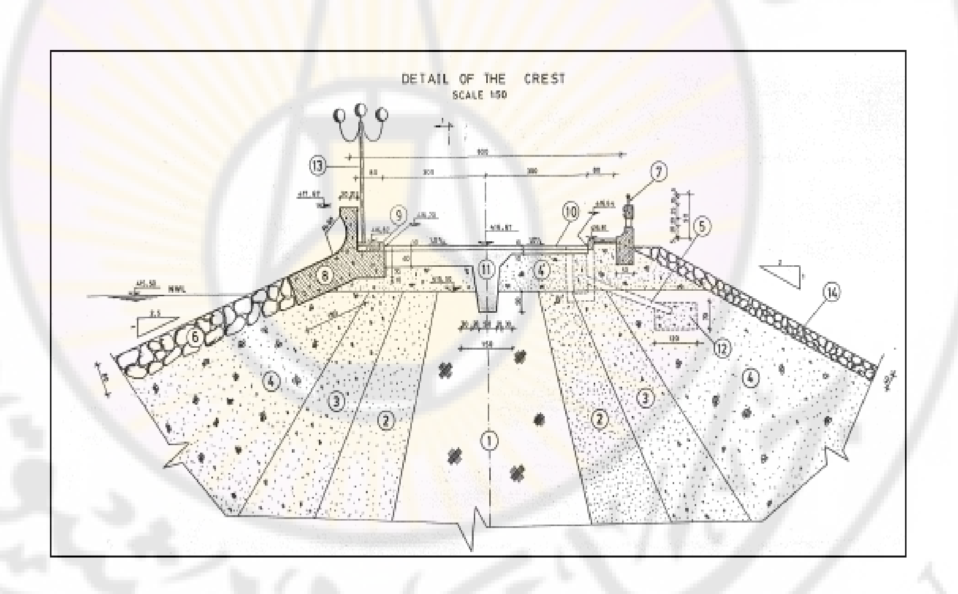
H-ارتفاع السد بالقدم

- :Preece معادلة

$$b=1.1H^{0.5}+1 \quad m$$

H- ارتفاع السد بالمتر

ملاحظة: اذا كان موقع السد في منطقة نشطة زلزاليا نزيد العرض بمقدار 20%



الشكل (13) يبين تفصيلة قمة طريق سد المزينة- حوض الساحل

مثال:

احسب الارتفاع الحر ومنسوب قمة السد الموافقة للبيانات التالية:

- منسوب الامتلاء للبحيرة =342 م
- منسوب الماء الاعظم =342.2 م
- طول التماس الفعال:

1- لحالة الارتفاع الحر العادي =3.66 كم

2- الارتفاع الحر الادنى=4 كم

- سرعة الرياح فوق اليابسة لأجل حالة الارتفاع الحر العادي =150 كم/سا

- العمق المتوسط للخزان:

1- لحالة الارتفاع الحر العادي =29 م

2- لحالة الارتفاع الحر الادنى=31.2 م

ميل السفح الأمامي 1:2.5
سطح السفح الامامي مغطى بحجر مرصوف يدويا

الحل:

١ -حالة الارتفاع الحر العادي (الارتفاع الحر العادي (Normal Freeboard) وهو يقاس بالنسبة لمنسوب الماء في حالة البحيرة مملوءة (حتى منسوب قمة المفيض أو منسوب التخزين العادي اذا كان جزء من حجم البحيرة يستخدم لدرء الفيضان)

- طول التماس الفعال =3.66 كم

سرعة الرياح =150 كم/سا

القيمة	حالة الارتفاع الحر العادي-مقاس لمنسوب البحيرة المملوءة او قمة المفيض	حالة الارتفاع الحر الأدنى-مقاسا لمنسوب الماء الفيضاني	ملاحظات
طول التماس الفعال (كم)	3.66	4	
سرعة الرياح فوق اليابسة (كم/سا)	150	75**	
معامل الرياح	1.22	1.24	جدول (1)
سرعة الرياح فوق الماء:كم/سا	150*1.22=183.9	93	
سرعة الرياح فوق الماء:م/ثا	183.9*1000/3600 =51.083	25.83	
ارنفاع الموجة المميز Hs (m).	2.37	1.2	$\frac{gH_s}{V^2} = 0.0026\left[\frac{gf_e}{V^2}\right]^{0.47}$
زمن الموجة Ts (s)	4.88	3.71	$\frac{gT_s}{V} = 0.45\left[\frac{gf_e}{V^2}\right]^{0.28}$
طول الموجة Ls (m)	37.15	21. 47	$L_s = 1.56\ T_s^2$
ارتفاع الموجة التصميمي Ho (m)	2.37*1.67=3.96	2	Ho=1.67 Hs
ميل الموجة Ho/Ls	3.96/37.15=0.1066	2/21.47=0.093	
تسلق الموجة النسبي R/Ho	1.6	1.6	الشكل (9)
تسلق الموجة R (m)	6.336	3.2	

معامل تصحيح الخشونة لأجل تسلق الأمواج	0.75	0.75	الجدول (2)
تسلق الموجة المصحح (m)	4.752	2.4	
نهوض الأمواج S (m)	0.069	0.018	$S = \frac{V^2F}{62{,}000D}$
الارتفاع الحر المطلوب (m)	4.752+0.069=4.821	2.4+0.018*=2.418	
منسوب قمة السد (m)	**340+4.821=344.821**	**342.2+2.418=344.618**	

** -يفرض ان سرعة الرياح للارتفاع الحر الأدنى نصف سرعة الرياح لحالة الارتفاع الحر العادي

*-تسلق الأمواج اكبر من ارتفاع الوجة التصميمي Ho

ملاحظة: كمثال حسبت Hs,Ls,Ts لحالة الارتفاع الحر الأدنى في الجدول أعلاه كما يلي:

$Hs=(0.0026 *V^2/g)*(fe*g/V^2)^{0.47}=(0.0026*51.083\text{^}2)*(9.81*3660/51.083\text{ ^}2)^{0.47} = 2.37$ m

$Ts=(0.45*V/g)(fe*g/V^2)^{0.28} =4.88$ s

$Ls=1.56*Ts^2=37.15$ m

النتيجة:المنسوب المعتمد لقمة السد هو الاعلى ويساوي 344.821 ولنقل 345.00

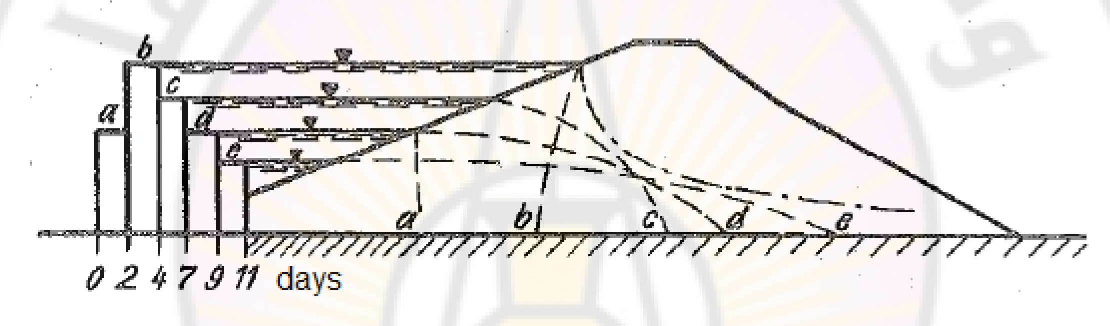
التسرب خلال السدود الترابية والركامية (1)

Seepage through earth and embankment Dams (1)

مقدمة:

مع بدء عملية التخزين في السد الركامي يبدأ ترطيب مقطع السد، و تطور هذه العملية يتبع لمعامل النفاذية . يستمر تغير موقع المنطقة الفاصلة بين الجزء المشبع والجاف (ما يسمى بخط الرشح) حتى الوصول الى حالة التوازن لخط الرشح الدائم او المستقر ،هذه الحالة ربما لا يتم الوصول اليها في السدود المخصصة لدرء الفيضان او للتخزين المؤقت بسبب عدم الوصول الى لاستقرار.

الشكل(1) يبين تقدم جبهة الترطيب وانحسارها حسب التخزين قصير الامد.



الشكل (1) تقدم جبهة الترطيب وانحسارها حسب التخزين قصير الامد.

في المواد الناعمة فان الضغط المسامي يصعد بالخاصة الشعرية فوق خط الرشح ، وفي هذه المنطقة لا يوجد جريان وسيهمل في حساباتنا.

يمارس الماء داخل جسم السد التأثيرات التالية:

1-الماء المتسرب والقوة الناتجة عن حركة التيار يمكن ان تغير أو تنقل الحبات الناعمة للتربة والتي ربما تشكل انابيب وهذه الحالة غالبا مرتبطة مع عكارة للماء المتسرب الذي يخرج من السفح الخلفي ،و يجب الانتباه لهذه الحالة لأنها يمكن ان تؤدي الى كارثة للسد. يمكن دراسة حركة الرشح المستقرة بواسطة الشبكة الهيدروديناميكية بحيث تتم دراسة تأثير الرشح المستقر على انهيار السفوح والانهيار الهيدروليكي ،انظر الشكل (2).



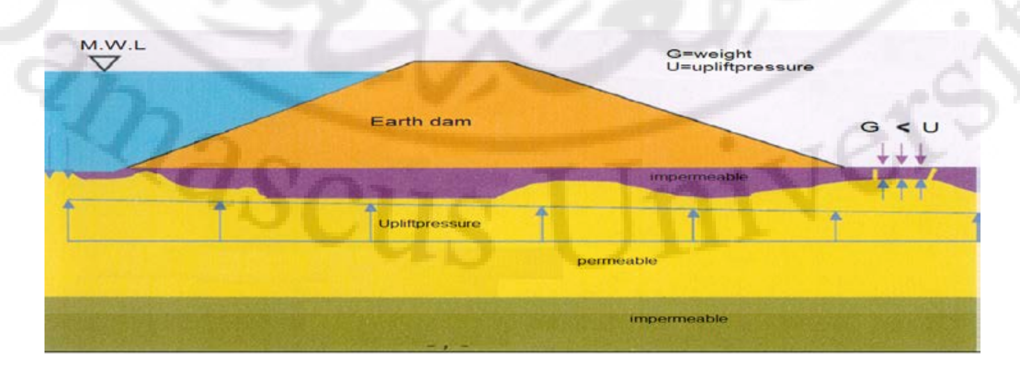
الشكل (2) يبين تشكل الانابيب داخل جسم السد

2-ان عملية توطيد التربة المترابطة تتغير مع الزمن وعند التصميم يجب الاخذ بالاعتبار الضغط المسامي الى حين انتهاء عملية توطيد التربة (أثناء عملية التوطيد يتم خروج ماء المسامات وزيادة الضغط الفعال مع الزمن)لأن ذلك يسيء الى استقرار السد،لذلك ينصح بتخزين المياه اولا عندما تنتهي عملية توطيد التربة.

3- ان هبوط منسوب الماء المفاجيء في البحيرة هو عملية غير مستمرة بل مؤقتة ،وهبوط سطح الماء في البحيرة يؤدي الى غياب الضغط الخارجي المائي وهذا يضر بحالة التوازن.ان الماء المتسرب الموجود داخل العنصر الكتيم بالسد لا يمكنه الهروب بنفس سرعة هبوط الماء في البحيرة ويحاول ايجاد طريق للهروب باتجاه الجانب المائي للسد وهذا يؤدي الى خفض معامل امان السفح الخلفي للسد.

4- كما ان الرشح تحت السد (ضمن الاساس) يؤدي الى تشكل ضغط مسامي وهروب الماء وتشكيل قوى رفع مائي تؤثر على السد وتسئ الى استقرار السدو وربما تسبب انابيب تحت السد.

انظر الشكل (3).



الشكل (3) يبين تش كل قوى رفع مائي على طبقة الاساس الكتيمة

ان المقطع العرضي للسد يمكن ان يكون من مادة واحدة (متجانس) أو من عدة مناطق (غير متجانس). وستتم مناقشة التسرب للحالتين.

التسرب خلال سد متجانس

Seepage through homogenous dam

يشكل خط التسرب او الرشح خط التسرب العلوي في الشبكة الهيدروديناميكية ويكون الضاغط عليه مساو للصفر (ضغط جوي).ان موقع واحداثيات خط الرشح تتعلق بالابعاد الهندسية لمقطع السد وليس بنفاذية التربة المشكلة له .وتعتبر المنطقة أسفل خط الرشح مشبعة بينما تلك التي فوقة جافة (نسبيا) ، والماء يصعد بالخاصة الشعرية فوق خط الرشح ولكن يهمل تأثيره في حسابات الرشح،

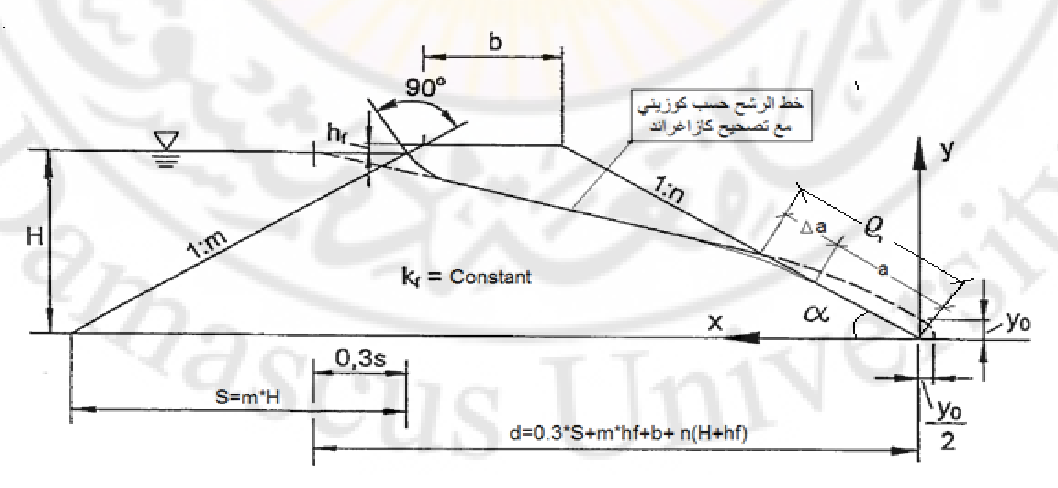
لتحديد خط الرشح(pheratic line) اهمية للأسباب التالية:

1-يشكل خط الرشح السطح الفاصل بين التربة الجافة(أو الرطبة) والتربة المغمورة بالماء من أجل حساب متانة التربة على القص

2-خط الرشح هو خط الجريان الاعلى في الشبكة الهيدروديناميكي ويساعدنا في رسم الشبكة الهيدروديناميكية

3-تحديد خط الرشح يساعد على التأكد من عدم تقاطعه مع السفح الخلفي للسد وهذا ضروري جدا لمنع انجراف التربة(sloughing of the dam)

لسد متجانس على قاعدة كتيمة بين كوزيني (Kozeny)ان خط الرشح يتبع لمعادلة قطع محرقه عند قدم السد الخلفي (بحال عدم وجود مصرف) .



Homogenous earth dam on impervious foundation

الشكل (4) يوضح خط الرشح حسب كوزيني

توصف حركة المياه ضمن تربة السد وفقا لقانون دارسي (Laminar flow) :

$$V=K.I$$

حيث:

K – معامل نفاذية التربة m/s

I- التدرج الهيدروليكي m/m

V- سعة الجريان m/s

بوضع مبدأ الاحداثيات (x,y) في نقطة محرق القطع وباعتبار y هي ارتفاع المنطقة المشبعة (حتى خط الرشح) يمكن حساب تصريف المياه المتسربة خلال واحدة الطول من السد بالعلاقةك

$$q=V.A=K.I.A$$

باعتبار مساحة الجريان A=y.1=y, والتدرج الهيدروليكي I=dy/dx تكتب المعادلة السابقة بالشكل:

$$q = k \cdot y \cdot \frac{dy}{dx} \qquad (1)$$

بتكامل هذه العلاقة نجد:

$$\frac{q}{k} \cdot x = \frac{y^2}{2} + C \qquad (2)$$

وبالنظر للشكل (4) ومن أجل x=0 و y=yo نحدد الثابت C=-yo/2

وبالتبديل بالمعادلة السابقة نجد:

$$\frac{q}{k} x = \frac{y^2 - y_0^2}{2}$$

من أجل y=0 وx=-yo/2 نجد:

$$\frac{q}{k} \cdot \left(-\frac{y_0}{2}\right) = -\frac{y_0^2}{2} \text{ and } y_0 = \frac{q}{k}$$

ومنه نجد:

$$\frac{q}{k} = \frac{y^2 - y_0^2}{2x} = y_0$$

وبذلك تكتب معادلة القطع حسب كوزيني بالشكل:

(3)

$$y^2 = 2x \cdot y_0 + y_0^2$$

وبذلك فان احداثيات القطع تعطي من أجل $x=0$ ، $y=y_0$ ومن أجل $y=0$ ، $x=-y_0/2$

باضافة x^2 الى طرفي المعادلة (3) نجد:

$$x^2 + 2y_0x + y_0^2 = y^2 + x^2$$

أو:

$$x^2 + y^2 = (x + y_0)^2 \quad (4)$$

وهي المعادلة العامة لقطع كوزيني .

وبالنظر الى مقطع السد وباعتبار الشروط $X=d, y=H$ وبالتبديل بالمعادلة (4) نجد:

$$y_0 = \frac{q}{k} = \sqrt{H^2 + d^2} - d$$

تصحيح كازاغراندي:لقد اثبت كازاغراندي ان نقطة تقاطع قطع كوزيني مع السطح المائي تبعد 0.7S من قدم السفح الأمامي أو 0.3S من تقاطع السفح الامامي مع سطح الماء في البحيرة.وبذلك يمكن ان نعرف المسافة d من مسقط النقطة التي تبعد 0.3S من تقاطع السطح المائي مع سفح السد الأمامي الى مبدأ احداثيات قطع كوزيني والتي تحسب من المعادلة:

$$d = (0,3\,m + n) \cdot H + (m + n) \cdot h_F + b$$

باعتبار m تظل زاوية ميل السفح الامامي وn تظل زاوية السفح الخلفي وأما H فهو ارتفاع الماء و h_F الأرتفاع الحر للسد.

كما وجد كازاغراندي ان نقطةخروج خط الرشح من السفح الخلفي هي أخفض بمقدار Δa من نقطة الحروج حسب كوزيني وعرف المسافة من نقطة خروج ماء الرشح من السفح الخلفي بالمقدار ϱ=a+Δa اي ان الماء يخرج من السفح الخلفي ضمن مسافة مقدارها a اعتبارا من القدم الخلفي (تقاس a و Δa على طول السفح الخلفي ابتداءا من القدم).ولأن

$$\varrho^2 = x^2 + y^2$$

يمكن ان نكتب:

$$y = \varrho \cdot \sin \alpha$$

$$x = \varrho \cdot \cos \alpha$$

بالتبديل بالمعادلة (4) نجد:

$$\varrho^2 = (\varrho \cdot \cos \alpha + y_o)^2$$

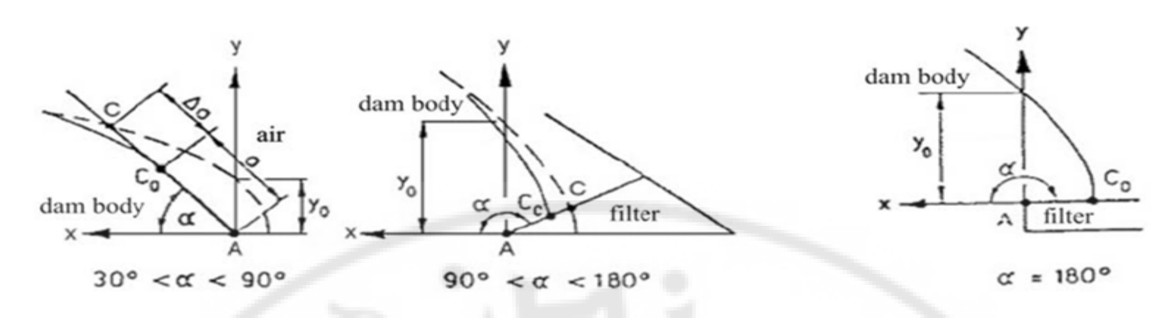
ومنه:

$$\varrho = \frac{y_o}{1 - \cos \alpha} = a + \Delta a$$

وباعتبار انه لا يسمح بخروج خط الرشح من السفح الخلفي(لكي لا يجرف معه الذرات الناعمة للتربة) فانه يوضع فلتر عند قدم السفح الخلفي والذي يميل بزاوية α تسمى ميل مستوي الصرف وهو لا يسمح بخروج الماء من السفح الخلفي ويحافظ عليه داخل جسم السد.

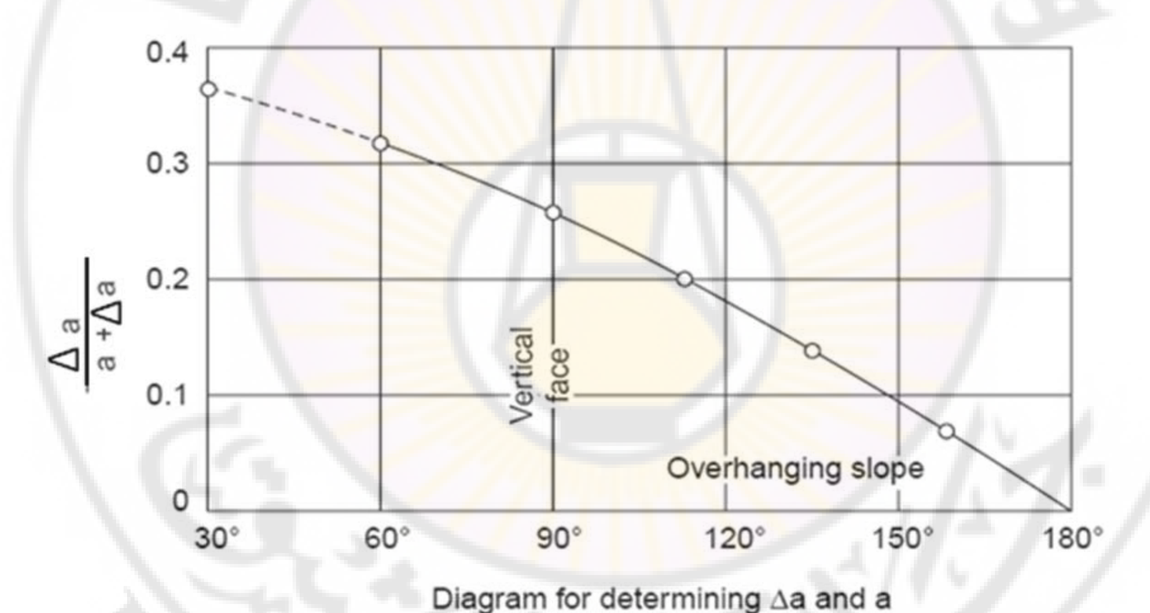
فمثلا $\alpha = 180^o$ للفلتر أو المصرف الافقي(horizontal filter) و$\alpha > 90^o$ لمواشير الصرف الحجرية (Rock toe)

الشكل التالي يوضح بعض أنماط المصارف وزاوية ميل مستوي الصرف.



الشكل (5-a) يبين ميل مستوي الصرف لأشكال مختلفة من المصارف

لقد تم من قبل كازاغراني تقدير الانحراف Δa بالعلاقة مع زاوية ميل مستوي الصرف α وذلك للمجال $30° \leq \alpha \leq 180°$ وذلك باستخدام المنحني على الشكل (6).



الشكل (6) تقدير Δa حسب زاوية ميل مستوي الصرف

الجدول التالي يوضح القيم بين α و Δa/(a+Δa)

بهذا يمكن تطبيق تصحيح كازاغراني بقياس المسافة Δa تحت نقطة التقاطع حسب كوزيني ووصلها مع قطع كوزيني بخط منحني دون صعوبة .

Values of $\frac{\Delta a}{a+\Delta a}$ for various slope angles (a)

Slope angle α (in degree)	$\frac{\Delta a}{a+\Delta a}$	Remarks
30	0.36	**Note**: Intermediate values of $\frac{\Delta a}{a+\Delta a}$ can be computed by interpolation method
60	0.32	
90	0.26	
120	0.18	
135	0.14	
150	0.10	
180	0	

وباعتبار ان خط الرشح هو اعلى خط بالشبكة الهيدروديناميكية والسفح الامامي هو خط كمون وهما يجب ان يكونا متعامدين جاء تصحيح كازاغرندي بأن يصل قطع كوزيني مع نقطة تقاطع السفح الامامي مع سطح الماء بشكل منحني، بحيث يشكل زاوية قائمةعند السفح الامامي ثم يوصل بشكل انسيابي مع خط كوزيني.

أيضا يمكن تقدير المسافة Δa من العلاقة التقريبية التالية:

$$\Delta a = \frac{y_0}{1-\cos\alpha}\cdot\left(\frac{1}{2}-\frac{\alpha}{360^\circ}\right)$$

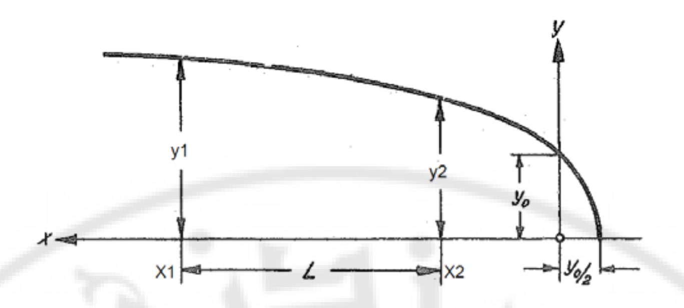
<u>للزاوية أقل من 30 درجة نستخدم العلاقة التالية لحساب a</u> :

$$a = \sqrt{H^2 + d^2} - \sqrt{d^2 - H^2 cot^2\alpha}$$

اذا علمت نقطتان من خط الرشح يمكن ان نكتب :

$$y_1^2 - y_0^2 = 2\ x_1 \cdot y_0$$

$$y_2^2 - y_0^2 = 2\ x_2 \cdot y_0$$



الشكل (7) يبين قطع كوزيني

بطرح المعادلة الثانية من الأولى نجد:

$$\frac{q}{k} = y_o = \frac{y_1^2 - y_2^2}{2\,(x_1 - x_2)}$$

لنقطتين بينهما المسافة L والتراتيب لخط الرشح y1 وy2 نكتب:

$$y_o = \frac{y_1^2 - y_2^2}{2L}$$

سنناقش فيما يلي دراسة التسرب خلال سد للحالات التي يتم ارجاعها الى حالة سد متجانس كما نوقشت أعلاه

ا-اختلاف النفاذية الافقية عن الشاقولية

بسبب طبيعة وطريقة بناء السدود عن طريق الردم بطبقات افقية ورصها فان السد المؤلف من مادة واحدةوالذي ندعوه تجاوزا متجانس لن يكون متجانسا بسبب اختلاف النفاذية الافقية عن الشاقولية وبهذا عادة ما تكون النفاذية بالاتجاه الافقي أكبر منها بالاتجاه الشاقولي (غالبا يسمى وسط غير موحد خواص النفوذية) .وبهذا فمن وجهة نظر النفاذية لن يكون السد متجانسا ولرسم خط الرشح يمكن تحويل السد غير المتجانس الى سد مكافئ متجانس من وجهة نظر التسرب وذلك بضرب الابعاد الافقية للسد بالنسبة:

حيث :

Kv : معامل النفاذية الشقولية

Kh : معامل النفاذية الأفقية

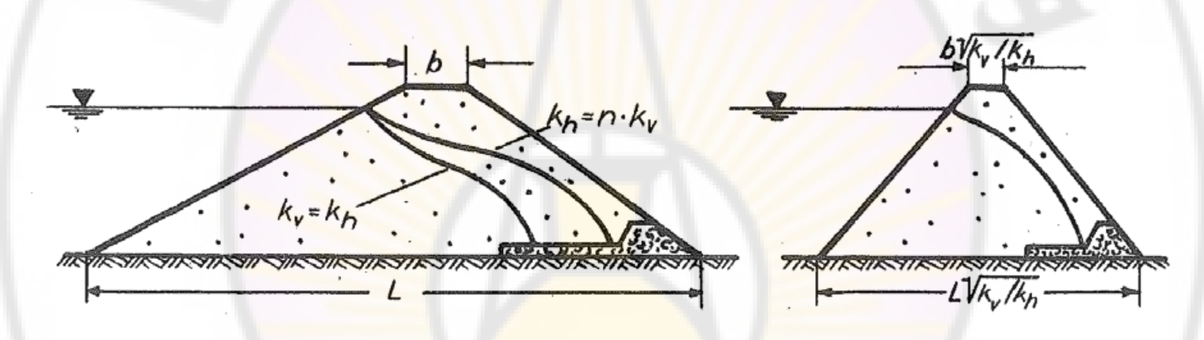
كما هو موضح بالشكل (8).

وأما كمية الرشح فتحسب بالعلاقة التالية:

$$q = \overline{K}\ [\sqrt{d^2 + H^2} - d]$$

حيث النفاذية المكافئة $\overline{K}$ تحسب من العلاقة:

$$\overline{K} = \sqrt{K_v K_h}$$

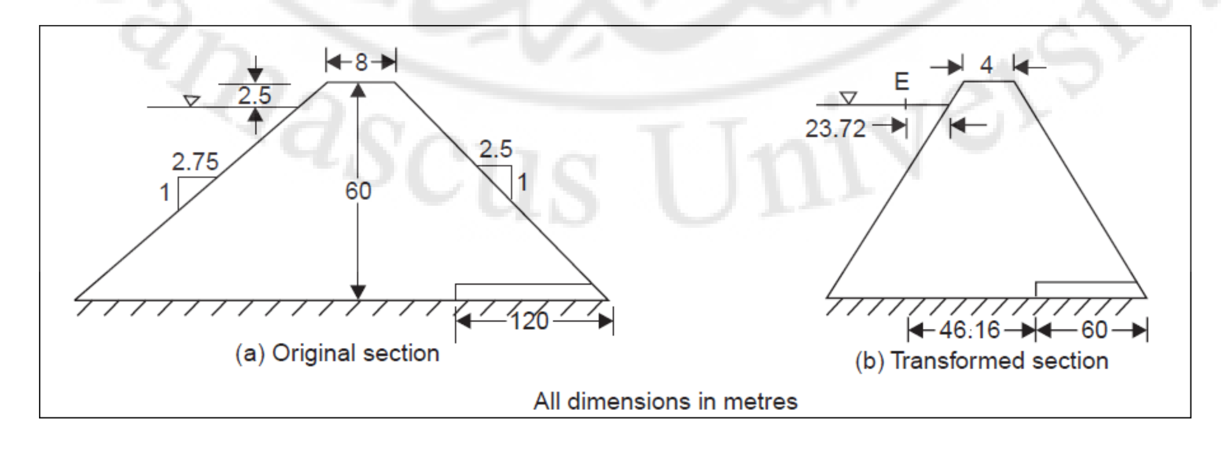


الشكل (8) يبين تغيير الابعاد الأفقية لسد ذي نفاذية افقية تختلف عن الشاقولية

مثال:

احسب كمية الرشح خلال السد الترابي الموضح بالشكل (9) والمؤسس على اساس كتيم ،علما ان الابعاد الهندسية للسد موضحة على الشكل ومعاملات النفاذية هي :

, Kh=4*10-7 m/s و Kv=10-7 m/s



الشكل (9) يبين ابعاد السد الاصلي(a) والسد المشوه(b)

الحل:

بما ان النفاذية غير متجانسة او غير متماثلة بالاتجاهين الافقي والشاقولي لذا يجب تحويل الشكل الاصلي الى الشكل المكافئ الحسابي بضرب الابعاد الافقية بنسبة معامل النفاذية الشاقولية الى معامل النفاذية الافقية:

$$x_t = x\sqrt{K_y/K_x} = x\sqrt{1\times10^{-7}/4\times10^{-7}} = x/2$$

بالنظر الى مقطع السد المشوه أعلاه

$$d = 46.16 \text{ m and } h = 57.5 \text{ m}$$

$$\overline{K} = \sqrt{K_x K_y} = \sqrt{4\times10^{-7}\times1\times10^{-7}} = 2\times10^{-7} \text{ m/s}$$

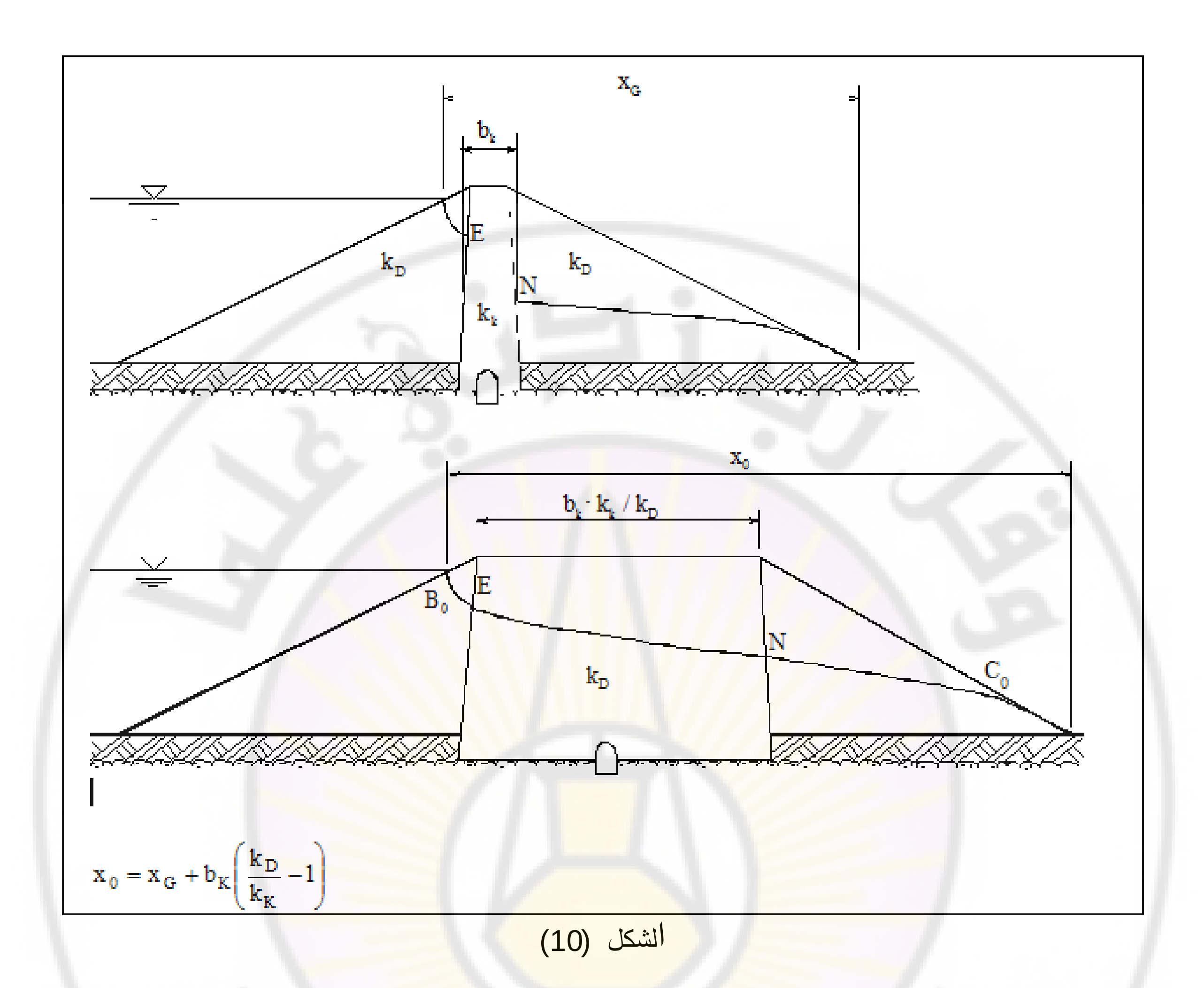
$$q = \overline{K}\ [\sqrt{d^2+h^2} - d]$$

$$= 2\times10^{-7}\ [\sqrt{46.16^2+57.5^2} - 46.16]$$

$$= 55.2\times10^{-7} \text{ m}^3\text{/s/m}$$

2- حالة سد غير متجانس (مواد مختلفة):

من حالات التسرب ضمن سد ركامي أو غير متجانس والتي يمكن ان تؤول في حلها الى نموذج التسرب ضمن سد متجانس كما شرح اعلاه ايضا سد ركامي بنواة كتيمة ،فاذا كانت نفاذية النواة اصغر بكثير من نفاذية اكتاف السد هنا يتم تحويل السد الكامل الى نموذج متجانس بضرب الابعاد الافقية للسد بالنسبة KD/KK اي معامل نفاذية اكتاف السد الى معامل نفاذية النواة KK .انظر الشكل التالي (10).ثم يحسب الرشح ضمن السد المكافئ والذي يساوي الرشح ضمن السد الاصلي ،وأما احداثيات خط الرشح فترسم للشكل المكافئ ثم تحول للشكل الأصلي ويحصل هنا تغير مفاجيء في خط الرشح عبر النواة المركزية.



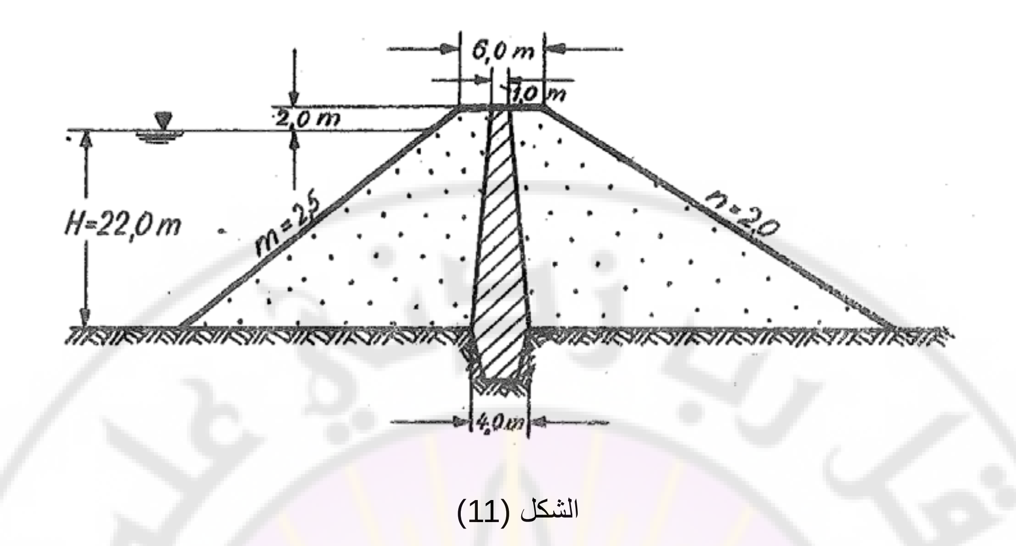
$$x_0 = x_G + b_K\left(\frac{k_D}{k_K} - 1\right)$$

الشكل (10)

ايضا اذا كان $KK/KD>100$ فان اهمال الرشح ضمن الركام على جانبي النواة لن يشكل خطأ ملحوظا وعندها يستمر الماء افقيا ضمن كتف السد من جهة الماء دون فاقد في الضاغط وينتهي خط الرشح عند خروج الماء من السفح الخلفي للنواة الى منطقة الكتف خلف السد وينساب ماء الرشح الى ارضية السد عبر طبقة الفلتر التي توضع على جانبي النواة الامامي والخلفي ثم يصرف الى خارج جسم السد.

مثال:

للسد الركامي بنواة مركزية والموضح ادناه، الشكل (11)، اوجد ابعاد السد المكافيء من وجهة نظر التسرب علما ان ابعاد السد الاصلية موضحة على الشكل .علما ان معامل نفاذية اكتاف السد 10^{-5} m/s وللنواة 10^{-8} m/s،السماكة المتوسطة للنواة 2.5 م



الشكل (11)

الحل:

بداية يجب تحويل السد الى سد متجانس باستبدال مادة النواة بمادة مكافئة لأكتاف السد وبذلك يتحول السد الى سد متجانس من بنفس مواصفات النفاذية للأكتاف .

باعتبار سماكة النواة عند القمة to=1 m تصبح السماكة المكافئة عند القمة :

$$t_o' = t_o \cdot \frac{k_1}{k_2} = 1,0 \cdot \frac{10^{-3}}{10^{-6}} = 1000,00 \text{ m}$$

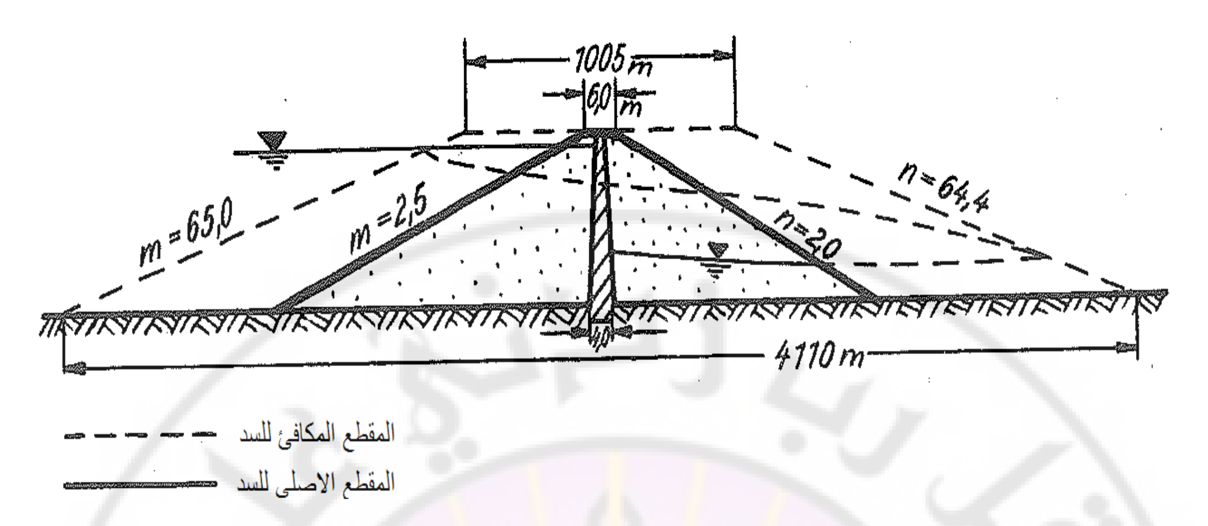
وباعتبار السماكة في الاسفل tu=4 m تصبح السماكة المكافئة عند القاع:

$$t_u' = t_u \cdot \frac{k_1}{k_2} = 4,0 \cdot \frac{10^{-3}}{10^{-6}} = 4000,00 \text{ m}$$

ويصبح عرض القمة المكافئ1005 م وعرض القاعدة 4110 م ،انظر الشكل (12) .وأما ميول السد الجديدة فهي :

ميل السفح الامامي $m = \frac{1558,5}{24,0} = 65,0$

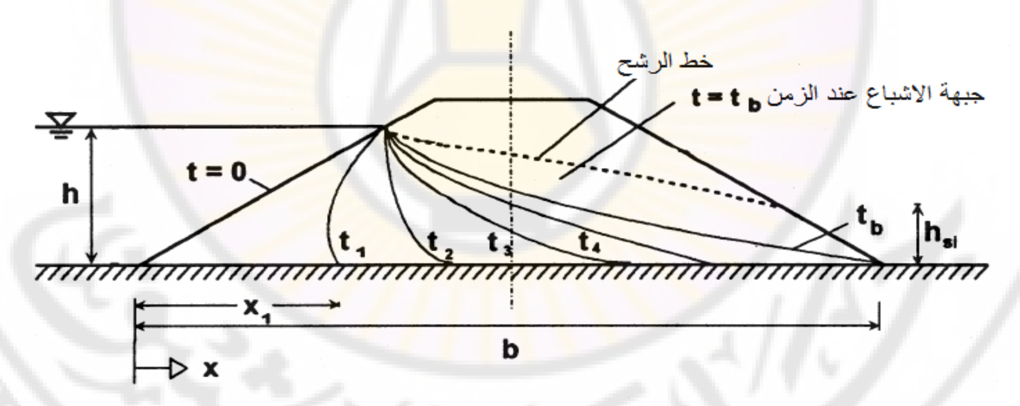
ميل السفح الخلفي $n = \frac{1546,5}{24,0} = 64,4$



الشكل (12)

<u>تحديد الزمن اللازم لتبلغ جبهة التسرب السفح الخلفي:</u>

بعد تخزين الماء في البحيرة تتشكل عند ازمنة مختلفة خطوط الرشح الموضحة على الشكل (13) حيث يتقدم خط الرشح باتجاه السفح الخلفي مع الزمن ، وهنا سنقدر الزمن اللازم حتى يصل خط الرشح الى المصرف اوللسفح الهوائي ونقول هنا ان خط الرشح مستقر.



الشكل (13) مسار تقدم جبهة الرشح داخل جسم السد مع الزمن

تتقدم جبهة الاشباع مع الزمن وتحسب القيمة Xt حسب علاقة shneider ،انظر الشكل (13)،من العلاقة:

$$x_t = \sqrt{\frac{2 \cdot h \cdot k_f}{n_a} \cdot t}$$

X_t-تقدم جبهة الاشباع حتى الزمن t

n_a-الجزء من حجم المسامات الكلي المشغول بالهواء وليس بالماء

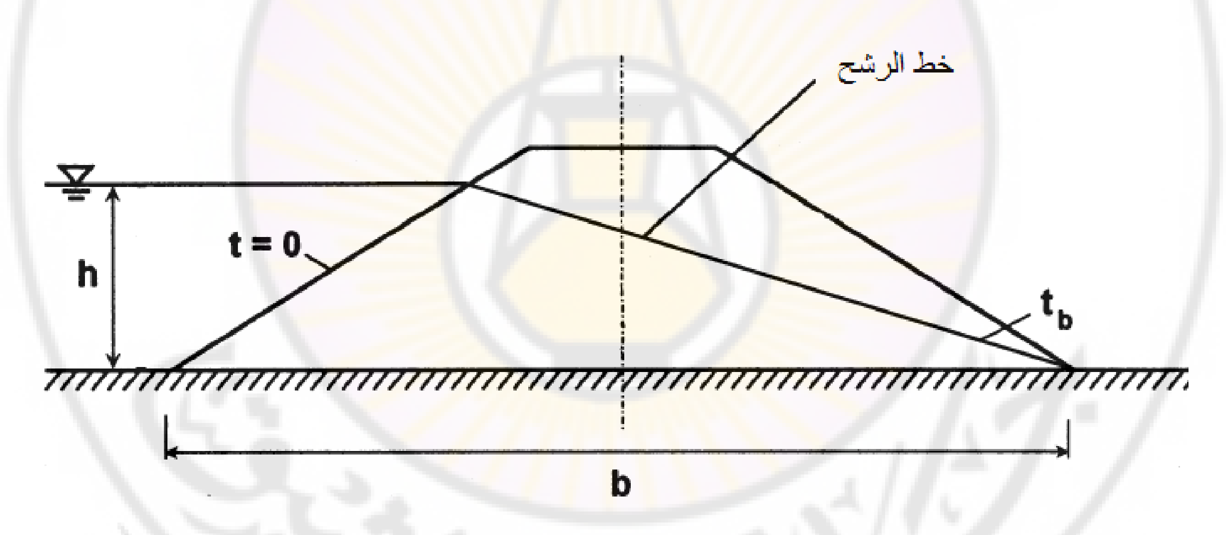
t- الزمن من بداية التسرب

Kf-معامل نفاذية السد

b-عرض قاعدة السد

يحسب الزمن t_b ليصل خط الرشح الى السفح الخلفي، (الشكل 14)، من علاقة shneider التالية:

$$t_b = \frac{n_a}{2 \cdot k_f \cdot h} \cdot b^2$$



الشكل(14)بلوغ خط الرشح الى السفح الخلفي

التسرب خلال السدود الترابية والركامية (2)

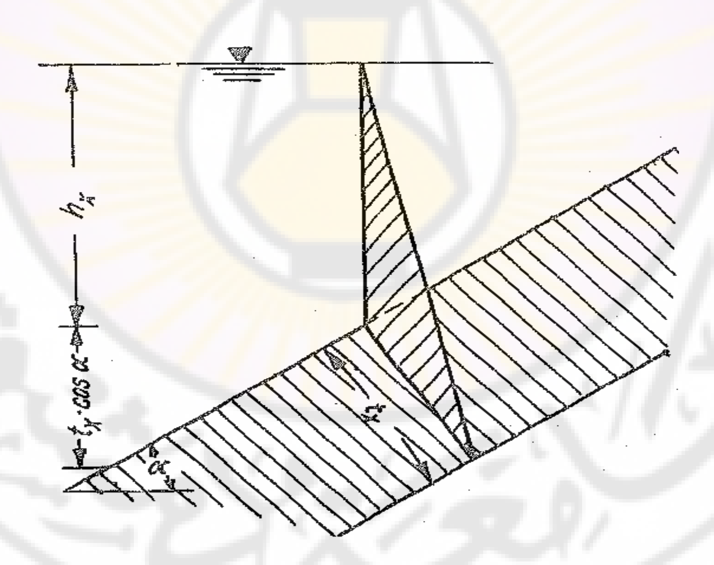
Seepage through earth and embankment Dams (2)

الرشح خلال سد غير متجانس (مع نواة مائلة أمامية)

Seepage through embankment dam with upstream slopping core

سنناقش هنا الطرق التي التقريبية لتحديد خط الرشح. لهذه الحالات يمكن اهمال طبقة الحماية فوق النواة المائلة لتأثيرها المهمل على عملية الرشح ،ولدراسة عملية الرشح ضمن النواة المائلة يشترط انها تتبع قانون دارسي.وباعتبار ردميات اكتاف السد تحت النواة المائلة ذات نفاذية عالية وأعلى بكثير من نفاذية النواة فانه يمكن اهمال تأثير ردميات السد على عملية الرشح ضمن النواة.

باعتبار ان الضاغط المائي عند النقطة X هو $P_x=\gamma_w.h_x$ فان الماء يرشح خلال النواة ويأخذ الطريق الأقصر t_x ويخرج من الجهة السفلية حيث يسود الضغط الجوي بسبب المسامية العالية للردميات الخشنة ،بذلك فان التدرج الهيدروليكي للماء المتسرب خلال النواة المائلة حسب الشكل(15) هو :

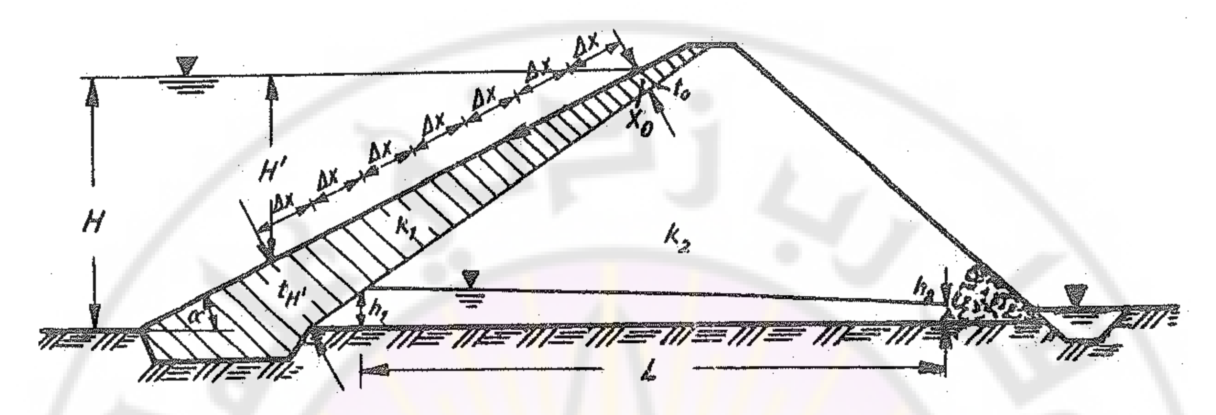


الشكل (15)نقصان الضاغط المائي خلال النواة المائلة

$$I=\frac{h_x+t_x\cdot\cos\alpha}{t_x}=\frac{h_x}{t_x}+\cos\alpha$$

بذلك يكون كمية الرشح خلال المسافة Δx كما في الشكل (16):

$$\Delta q = k_1 \cdot \Delta x \left(\frac{h_x}{t_x} + \cos \alpha \right)$$



الشكل (16) يبين الرشح خلال نواة مائلة

يتم حسب الشكل السابق حساب الرشح ضمن كل مقطع Δx من النواة المائلة ثم يتم تجميع قيم الرشح للمقاطع المختلفة.

الماء الراشح ضمن النواة الكتيمة يتم صرفه ضمن ردميات السد (عادة نفاذيتها اعلى بكثير من النواة) ويقاد الى خارج جسم السد.

لحساب عمق الماء h_1 المتشكل بعد اجتياز النواة الكتيمة يحسب باستخدام العلاقة التالية ل كوزيني وعزل h_1 كما يلي :

$$\frac{q}{k} = y_o = \frac{h_1^2 - h_2^2}{2\,(x_1 - x_2)}$$

وباعتبار $X1-X2=L$ نجد:

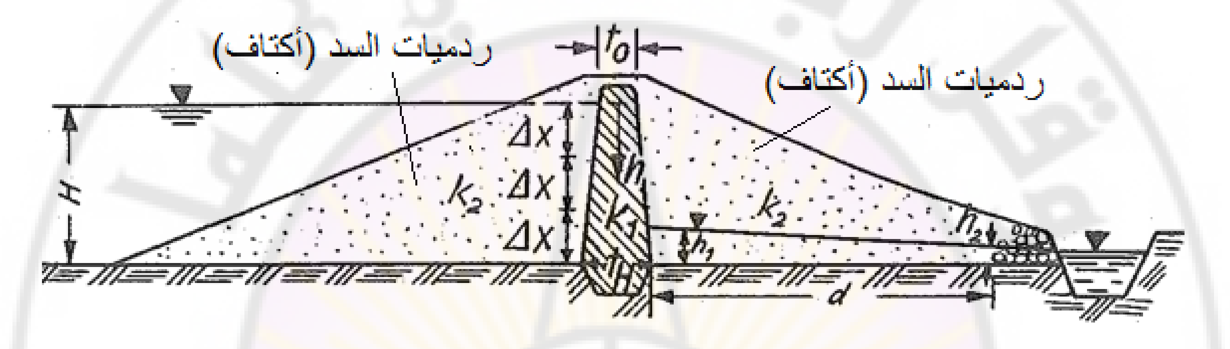
$$h_1 = \sqrt{\frac{q \cdot 2L}{k_2} + h_2^2}$$

h_2 -تعبر عن عمق الماء في المجري عند القدم الخلفي للسد.

الرشح خلال سد غير متجانس (مع نواة مركزية)

Seepage through embankment dam with vertical core

حسب الشكل (17) ادناه نفرض انه لدينا سد على قاعدة كتيمة ومزود بنواة مركزية (من الغضار مثلا) تنغرس بالاساس الكتيم لعمق بسيط (عادة 0.5 م)سماكتها عند سطح الماء to وعند قاعدة السد t_H وعلى جانبي النواة ردميات ذات نفاذية اعلى بكثير من نفاذية النواة (أي K1<<K2) ،بهذا فان الضغط المائي على النواة يساوي عمق الماء (ضياع الضاغط مهمل خلال ردميات السد).



الشكل (17) الرشح خلال نواة مركزية

التدرج الهيروليكي عند العمق hx من سطح الماء هو:

$$I = \frac{h_x}{t_x}$$

وبالتالي التصريف خلال المسافة Δx من ارتفاع النواة يحسب باستخدام علاقة دارسي من العلاقة:

$$\Delta q = k_1 \cdot \Delta x \cdot \frac{h_x}{t_x}$$

كمية الرشح الكلية هي مجموع الرشح خلال المسافات الجزئية Δxi

اعماق المياه خلف النواة يمكن حسابها باستخدام العلاقة التالية والمذكورة اعلاه:

$$\frac{q}{k} = y_0 = \frac{h_1^2 - h_2^2}{2\,(x_1 - x_2)}$$

وباعتبار X1-X2=L نجد:

$$h_1 = \sqrt{\frac{q \cdot 2L}{k_2} + h_2^2}$$

ان تأثير ردميات السد خلف النواة مهملة طالما K1<<K2

يمكن الحصول على نتيجة بدقة كافية عند حساب كمية الرشح باستخدام القيم الوسطية.باعتبار سطح الرشح H خلال 1 م من طول السد وتدرج هيدروليكي متوسط :

$$I_m = \frac{H}{t_o + t_H}$$

فان تصريف المياه الراشحة هو:

$$q_m = k_1 \cdot \frac{H^2}{t_o + t_H}$$

ملاحظة: يمكن ايضا تحويل ابعاد السد غير المتجانس الى سد متجانس وايجاد كمية الرشح للسد المشوه كما شرح سابقا.

تقدير كمية الرشح خلا السد واساس السد:

في الفقرات السابقة تم حساب كمية الرشح عبر جسم السد باعتبار ان الاساس كتيم ،أما لحساب كمية الرشح عبر اساس السد فيمكن باستخدام علاقة دارسي التالية:

$$q = k_2 \cdot T \cdot \frac{H}{n \cdot L_k}$$

الشكل (18) يوضح رموز المعادلة اعلاه.أما العامل n فيعبر عن النسبة بين طول خط الجريان حول Lk الى الطول الأقصر والمساوي Lk ،وهو يتبع للنسبة L/T وهو يؤخذ من الجدول التالي:

$\frac{L}{T}$	20	5	4	3	2	1
n	1,18	1,21	1,25	1,33	1,47	2,00

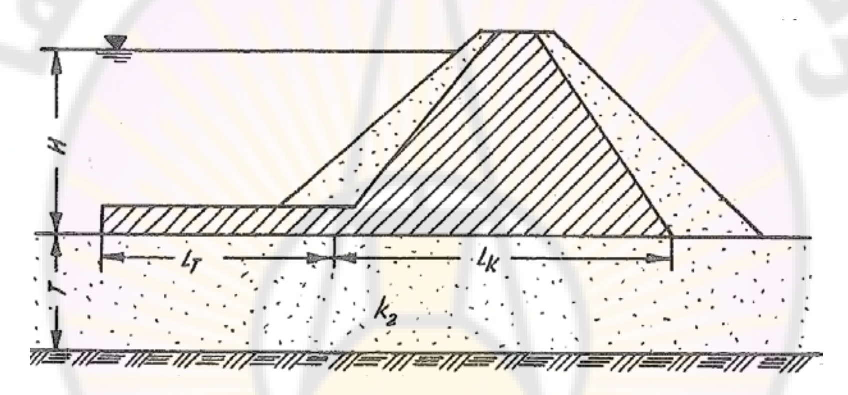
اذا كان يطلب خفض كمية التسرب المحسوبة وفق المعادلة السابقة الى p.q عن طريق التزويد بسجادة كتيمة فان المعادلة السابقة تأخذ الشكل :

$$p \cdot q = k_2 \cdot T \cdot \frac{H}{n(L_k + L_T)}$$

بذلك يكون طول السجادة التي يمكن من خلالها خفض التسرب الى القيمة p.q وهي نسبة من القيمة الاصلية q :

$$L_T = k_2 \cdot T \cdot \frac{H}{n \cdot p \cdot q} - L_k$$

للحصول على n هنا من الجدول السابق نستعمل النسبة (LT+LK)/T.



الشكل (18) نموذج حساب الرشح ضمن السد والاساس بوجود سجادة كتيمة أمامية(السد بنواة مركزية)

في حال كان السد مزود بكتامة مائلة موصولة مع سجادة كتيمة (كما في الشكل19)فان التدرج الهيدروليكي يحسب من العلاقة :

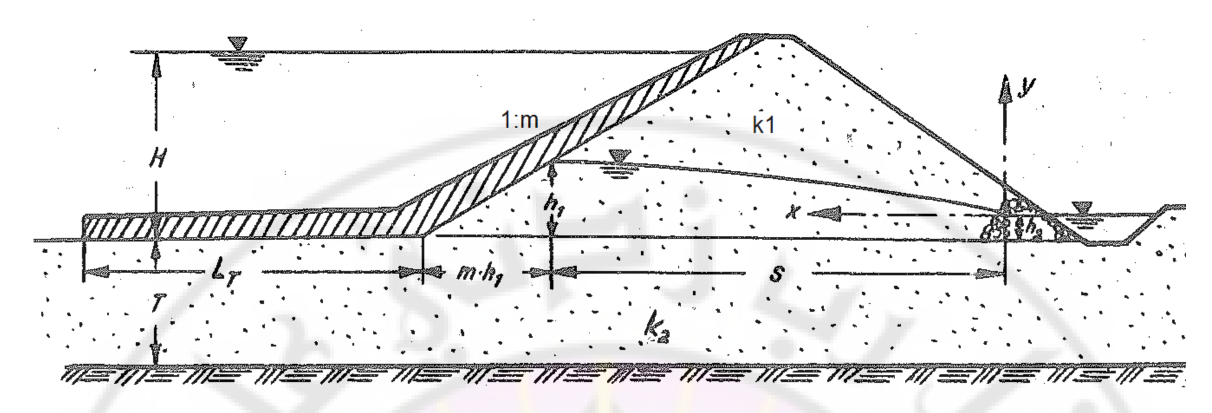
$$I = \frac{H - h_1}{n(L_T + m \cdot h_1)}$$

وقيمة n تؤخذ حسب النسبة من الجدول اعلاه:

$$\frac{L_T + m \cdot h_1}{T}$$

يحسب الرشح عبر الاساس ولواحدة الطول وفق علاقة دارسي (q=K.A.I) كما يلي :

$$q = k_2 \cdot T \cdot \frac{H - h_1}{n(L_T + m \cdot h_1)}$$



الشكل (19) نموذج حساب الرشح ضمن السد والاساس بوجود سجادة كتيمة أمامية(السد بنواة أمامية مائلة)

ملاحظة:

يحسب التسرب عبر جسم السد والاساس معا بالعلاقة :

$$q=q_1+q_2$$

حيث:

q_1 :التسرب عبر السد باعتبار الاساس كتيم

q_2 :التسرب عبر الاساس باعتبار السد كتيم

الشبكة الهيدروديناميكية خلال سد ترابي:

بمساعدة خط الرشح يمكن رسم الشبكة الهيدروديناميكية ،وبالنظر لسد متجانس على قاعدة كتيمة ومع الاخذ بالاعتبار ان :

-خط الرشح هو اعلى خط جريان

-القاع الكتيم هو اخفض خط جريان

-السفح الأمامي الذي تتسرب منه المياه يعتبر خط كمون

-السفح الخلفي هو مصرف .

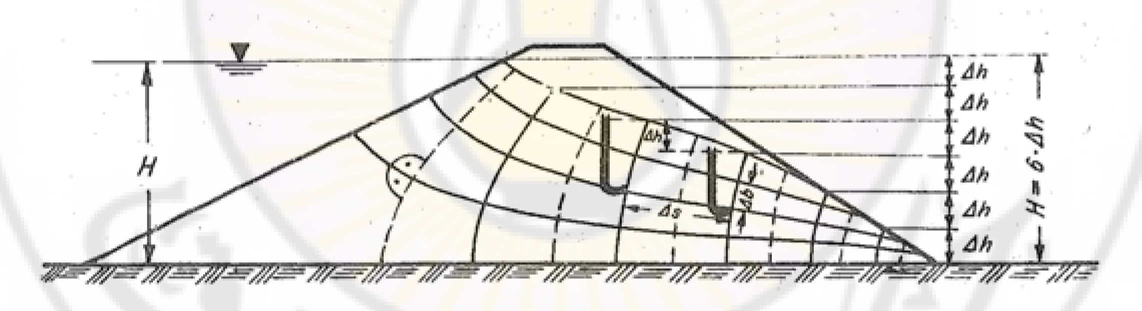
اما خطوات رسم شبكة الجريان لسد متجانس على قاعدة كتيمة فهي:

- 1-رسم خط الرشح(الضاغط =0 عند خط الرشح)
- 2-تقسيم فرق الضاغط الكلي بين امام وخلف السد الى عدة اجزاء متساوية Δh وتمديد كل خط ضاغط متساوي ليتقاطع مع خط الرشح
- 3-نقاط التقاطع تحدد عدد الخلايا
- 4- من كل نقطة تقاطع نبدأ برسم الخلايا مع المحافظة على تعامد خطوط الجريان مع خطوط الضاغط المتساوي لتشكيل مربعات منحنية

وبعد تصميم الشبكة الهيدروديناميكية يمكن حساب كمية الرشح عبر جسم السح ولواحدة الطول بالعلاقة :

$$Q=k.n.H/m$$

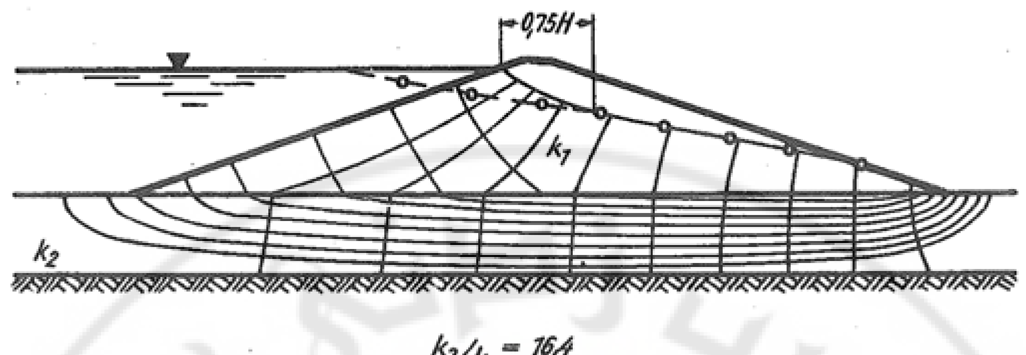
حيث m تمثل عدد هبوطات الكمون و n تمثل عدد المجاري المائية. بالنظر للشكل (20) فان 4=n و m=6



الشكل (20) يبين الشبكة الهيدروديناميكية لسد متجانس على قاعدة كتيمة

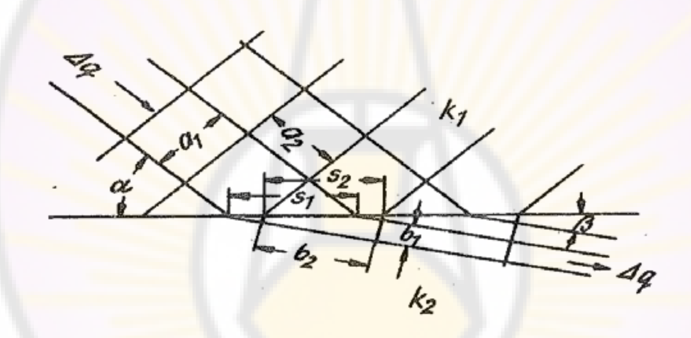
ملاحظة:

اذا كان السد يستند على اساس نفوذ وكانت معاملات النفاذية مختلفة سيحصل انحراف لخطوط الجريان عند الحد الفاصل بين المادتين انظر الشكل (21).ان نسبة النفاذية للاساس الى النفاذية للسد بالشكل (21) هي 16.4



الشكل (21)انحراف لخطوط الجريان عند الحد الفاصل بين مادة السد ومادة الاساس

الشكل التالي(22) يبين انحراف خطوط الجريان عند اجتياز الخط الفاصل بين الطبقتين ذوات النفاذية المختلفة .



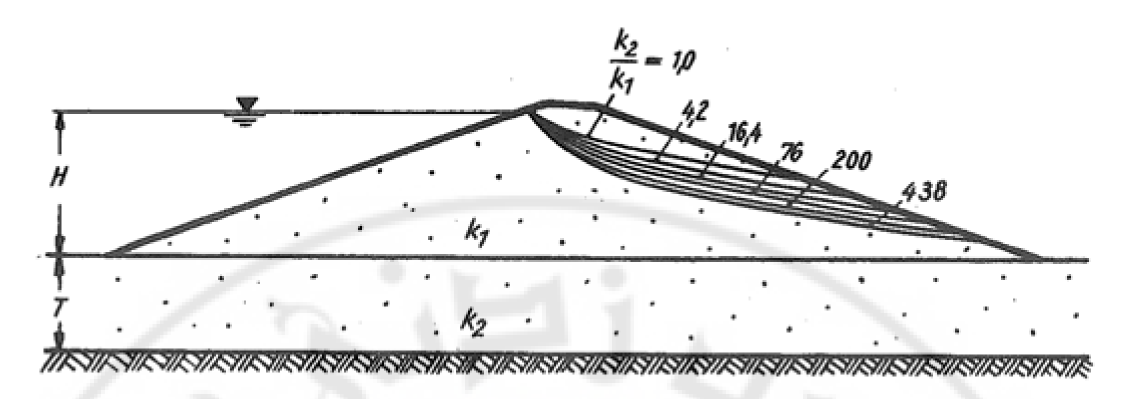
$$a_1 = b_1 \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

$$a_2 = b_2 \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}$$

الشكل(22) يبين انحراف خطوط الجريان عند الحد الفاصل بين طبقتين مختلفتي النفاذية

ويبين حساب ابعاد الخلايا وكذلك ميول خطوط الجريان عند الحد الفاصل

الشكل التالي (23) يوضح تغير موقع خط الرشح حسب نسبة نفاذية اساس السد الى نفاذية السد نفسه.



الشكل (23) يوضح تغير موقع خط الرشح حسب نسبة نفاذية اساس السد الى نفاذية السد نفسه

<u>التأثير عكى عملية الرشح ضمن السد واساس السد:</u>

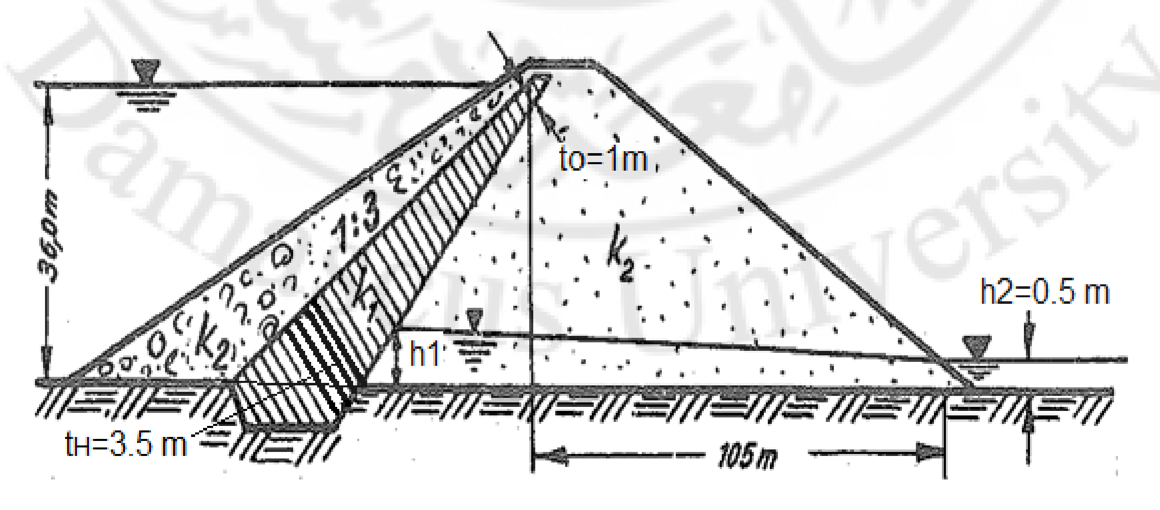
ان طرق التحكم والتأثير على الرشح خلال السد واساسه تقسم الى قسمين:

1-طرق تمنع او تخفض الرشح ،(مانعة رشح،ستائر معدنية او جدران بيتونية،حقن الاساس ،سجادة امامية كتيمة،اغشية مائلة رقيقة)

2-طرق تتحكم بالماء الذي دخل الى جسم السد(التقسيم لمناطق مختلفة النفاذية embankment zoning ،طبقة فلتر افقية،طبقة فلتر مائلة Chimney drains،موشور صرف، آبار تصريف...الخ).

<u>مثال :</u>

للسد الركامي بنواة مائلة الموضح ادناه فاذا كان الجسم المشكل للسد خلف النواة الكتيمة وأمامها مؤلف من مواد نفوذة معامل نفاذيتة 10^{-2}سم/ثا , ومواد النواة المائلة ذات معامل نفاذية 10^{-7}سم/ثا. المطلوب حدد موقع خط الرشح وكمية الرشح عبر السد اذا علمت ان ارتفاع الماء امام السد 36 م والسماكة في الاسفل 3.5 م وفي الاعلى 1م وميل النواة المائلة 1:3 اي (α=18.41 deg.) و h2=0.5 m



الحل:

لقد قسم سطح النواة خلافا للشكل 16 الى اربعة اجزاء كل منهاx Δ (الشكل 16) وبذلك لدينا خمسة نقاط نحسب لها الضاغط ونحسب السماكة عند هذه النقاط وبذلك فاننا نجد Δx =25.8 m :

$$\Delta q = k_1 \cdot \Delta x \left(\frac{h_x}{t_x} + \cos\alpha\right)$$

ورتبت النتائج بالجدول التالي:

point	$h_x + t_x \cdot \cos\alpha$	t_x	$I = \frac{h_x}{t_x} + \cos\alpha$	I_{mittel}	Δq
Dim	m	m	1	1	$10^{-9}\ m^3/s \cdot m$
1	36,00	3,50	10,28	9,88	255,0
2	27,22	2,87	9,48	8,84	228,0
3	18,47	2,25	8,20	7,08	182,5
4	9,71	1,62	5,96	3,45	89,0
5	0,95	1,00	0,95		

$$q = \sum \Delta q = 754{,}5 \cdot 10^{-9}\ m^3/s \cdot m$$

ومنه باستخدام المعادلة التالية نحسبh1 :

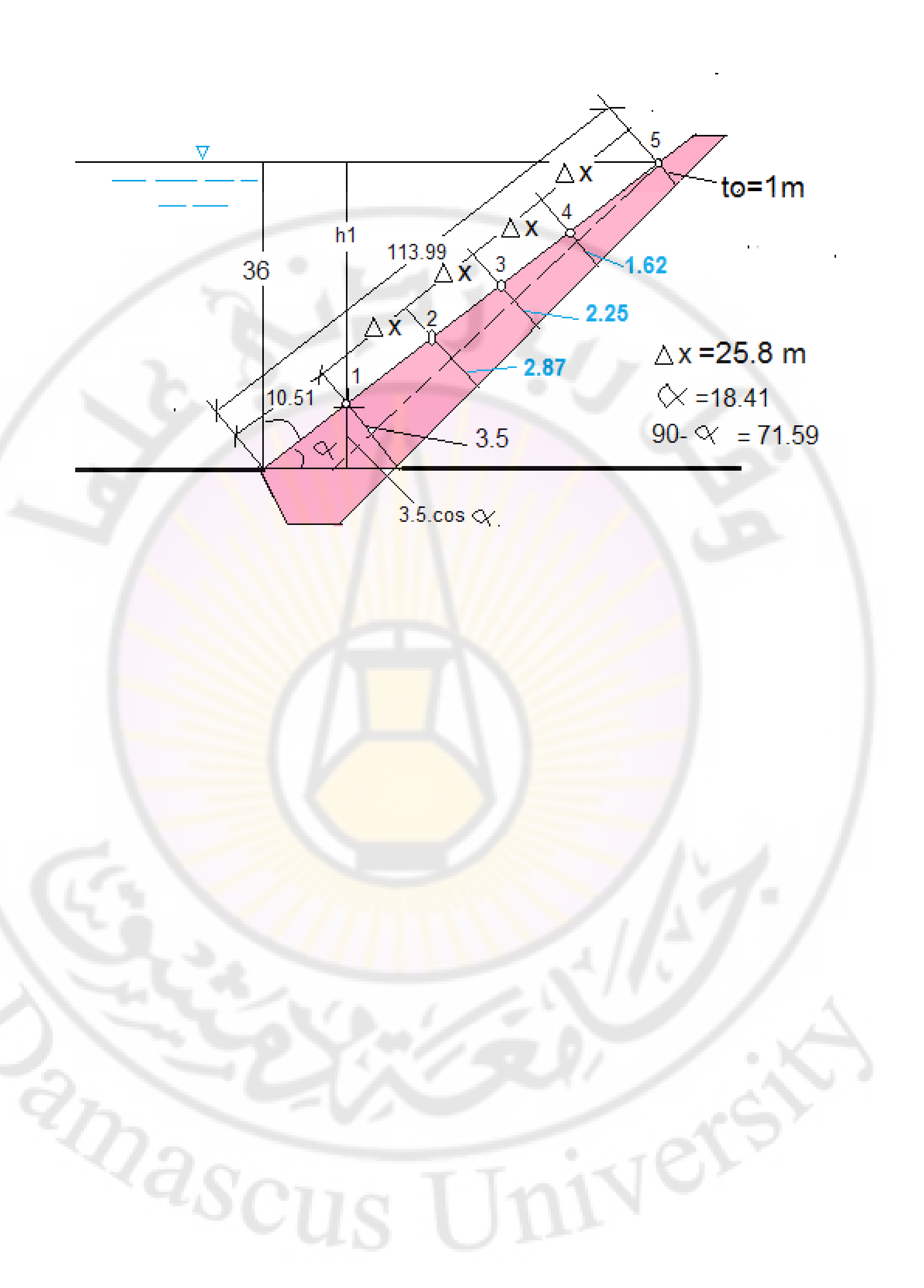
$$h_1 = \sqrt{\frac{q \cdot 2L}{k_2} + h_2^2}$$

$$h_1 = \sqrt{\frac{0{,}7545 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 209{,}43}{1 \cdot 10^{-4}} + 0{,}5^2}$$

h1=1.85 m

ومعلوم لدينا h2=0.5 m

بهذا تم تحديد موقع خط التسرب.



5
to=1m
4
1.62
3
2.25
2
2.87
1
36
h1
113.99
10.51
3.5
3.5.cos α.
Δx
Δx
Δx
Δx
Δx =25.8 m
α =18.41
90- α = 71.59